

IS MANIZALES A CYCLING CITY?

Jhoan Mateo Atehortúa Cardona
Universidad Tecnológica de Pereira

Nota del autor

Jhoan Mateo Atehortúa es estudiante del Programa de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Tecnológica de Pereira. Integrante del Grupo de Investigación Sirius.

Este proyecto es producto de la investigación denominada Is Manizales a Cycling City?, dirigido por Orlando Sabogal integrante del Grupo de Investigación Sirius de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Tabla de Contenido

1.	Introducción	10
2.	Problema de Investigación	11
2.1	Planteamiento del Problema	11
3.	Objetivos	12
3.1.	Objetivo General	12
3.2.	Objetivos Específicos	12
4.	Justificación	13
5.	Marcos de Referencia	14
5.1.	Marco Teórico	14
5.1.1.	Distancia	15
5.1.2.	Velocidad	15
5.1.3.	Tiempo	16
5.2.	Marco Conceptual	16
5.3.	Marco Espacial	18
5.3.1.	Economía	18
5.3.2.	Límites	18
5.3.3.	Población	19
5.3.4.	Transporte	19
5.4.	Marco Temporal	20
5.5.	Marco Legal	20
6.	Hipótesis	21
7.	Aspectos Metodológicos	22
7.1.	Tipo de Investigación	22
7.2.	Métodos de Investigación	22
7.3.	Fuentes y técnicas para la recolección de la información	22
7.4.	Tratamiento de la información	22
8.	Cronograma	23
9.	Caso de Estudio	23
9.1.	Cálculo Pendiente	24
9.2.	Cálculo Velocidades	31
9.3.	Caminos Mínimos	36
9.4.	Análisis Espacial	37
10.	Resultados	39
11.	Conclusiones y Discusiones	50
12.	Referencias	51
12.1.	Artículos Científicos	51
12.2.	Sitios Web	54

Lista de Ecuaciones

Ecuación 1 Fuerza por la Inclinación de Superficie	32
Ecuación 2 Fuerza de Resistencia de Rodamiento	32
Ecuación 3 Fuerza de Arrastre.....	32
Ecuación 4 Fuerza Total Número 1	32
Ecuación 5 Fuerza Total Número 2	33
Ecuación 6 Fuerza Total de Bajada	33
Ecuación 7 Velocidad Pendiente Subida	33
Ecuación 8 Velocidad Pendiente Bajada	33
Ecuación 9 Velocidad de Pendiente Subida Modificada.....	34
Ecuación 10 Velocidad de Pendiente Bajada Modificada.....	34
Ecuación 11 Interpolación Lineal.....	34

Lista de Gráficas

Gráfica 1 Análisis de Accesibilidad Población Total	39
Gráfica 2 Análisis de Accesibilidad Estratos 1	41
Gráfica 3 Análisis de Accesibilidad Estratos 2	42
Gráfica 4 Análisis de Accesibilidad Estratos 3	44
Gráfica 5 Análisis de Accesibilidad Estratos 4	45
Gráfica 6 Análisis de Accesibilidad Estratos 5	47
Gráfica 7 Análisis de Accesibilidad Estratos 6	48
Gráfica 8 Análisis de Accesibilidad Combinado.....	49

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Complemento Análisis de Terreno	25
Ilustración 2 Cuadro de Texto Función Pendiente Qgis	26
Ilustración 3 Ráster de Pendientes.....	27
Ilustración 4 Categorías Posibles.....	27
Ilustración 5 Parámetros de R.reclass	28
Ilustración 6 Comparación entre Archivos Ráster.....	29
Ilustración 7 Complemento de Conversión	29
Ilustración 8 Parámetros Conversión de Ráster.....	30
Ilustración 9 Cuadro de Atributos Red Vial Manizales.....	31
Ilustración 10 Matriz de Tiempos Mínimos	37
Ilustración 11 Interpolación IDW	38
Ilustración 12 Interpolación TIN	38
Ilustración 13 Mapa de Accesibilidad Barrios	40
Ilustración 14 Mapa Accesibilidad Estratos 1	41
Ilustración 15 Mapa de Accesibilidad Estratos 2	43
Ilustración 16 Mapa de Accesibilidad Estratos 3	44

Ilustración 17 Mapa de Accesibilidad Estrato 4	46
Ilustración 18 Mapa de Accesibilidad Estratos 5	47
Ilustración 19 Mapa de Accesibilidad Estratos 6	49

Lista de Tablas

Tabla 1 Diagrama de Gantt.....	23
Tabla 2 Velocidades Asignadas.....	35

Resumen

La bicicleta se ha convertido en una propuesta de movilidad que toma fuerza en diferentes ciudades del mundo por sus importantes beneficios ambientales, sociales y de salud. Esto debido a los retos que afrontan las ciudades en temas de congestión vehicular, contaminación del aire y la falta de acceso en oportunidades socioeconómicas. A su vez la implementación de políticas que incentiven el uso de la bicicleta presente barreras particulares de acuerdo al contexto de la ciudad como puede ser el exceso de tráfico, las percepciones de inseguridad, falta de infraestructura, condiciones físicas, factores climáticos y la topografía.

En Colombia, una ciudad que ha impulsado el uso de la bicicleta a partir de un sistema de bicicletas compartidas y políticas públicas ha sido Manizales. Sin embargo, en esta ciudad se presenta una topografía montañosa que la hace un caso particular de estudio. Por tal motivo se propuso una evaluación de los tiempos mínimos de viaje en la ciudad usando la bicicleta teniendo en cuenta los efectos de las pendientes en la velocidad de recorrido y también un análisis de accesibilidad a partir de los estratos socioeconómicos identificados en la misma.

Para lo anterior se calculó las pendientes presentes en Manizales a partir de información geográfica procesada en Qgis y TransCAD. De acuerdo a estas pendientes se asignaron los valores de velocidad en cada uno de los arcos de la red vial. Siguiendo el proceso se calcularon los tiempos de caminos mínimos de todos los nodos hacia todos los nodos y por ultimo una interpolación espacial para conocer el nivel de accesibilidad que tienen los estratos socioeconómicos de la ciudad al hacer uso de la bicicleta.

Los resultados obtenidos revelan que el tiempo de viaje usando la bicicleta se encuentra entre 30 y 60 minutos aproximadamente. A su vez los estratos socioeconómicos más altos tienen una mejor cobertura de sus poblaciones frente a los estratos más bajos. Finalmente, Manizales puede ser recorrida en bicicleta dado que los recorridos presentan tiempos cercanos a otros medios de transporte.

Abstract

Cycling has become a strong transport alternative in many cities around the world due to its environmental, social, and health benefits. At the same time, the implementation of policies oriented to foster cycling faces specific issues according to the context of each city such as congestion, insecurity perceptions, lack of infrastructure, physical conditions, climate factors or topography.

In Colombia, Manizales has encouraged the use of its bicycle-shared system. Nevertheless, this city has a hilly topography that makes it a unique case of study. This work proposes an accessibility evaluation to cycling taking into account travel times and the effects of slopes over speeds as well as socioeconomic stratification. Results show that cycling travel times are among 30-60 minutes and those high-income neighborhoods have more benefits than low-income zones. Manizales is appropriate for cycling; cycling travel times are similar to other transportation modes.

1. Introducción

Debido al rápido crecimiento poblacional, las ciudades Colombianas se han visto enfrentadas a la implementación de nuevos modelos de desarrollo que se orientan a mejorar el acceso a las oportunidades socioeconómicas de las personas (Dinero, 2012). Uno de los retos importantes es en el tema de movilidad ya que la congestión vehicular, la accidentalidad dentro de la zona urbana, la contaminación del aire y el acceso al transporte público de calidad son aspectos negativos dentro de la percepción de los ciudadanos (Flores R. A., Taddia, Pardo, & Lleras, 2015).

Es por ello que el uso de la bicicleta se ha convertido en una solución de movilidad que llama la atención en sectores de transporte, salud y medio ambiente (Götschi, Garrard, & Giles-Corti, 2016). Esta situación se ha presentado en varias ciudades del mundo como Europa Occidental, Norteamérica y Australia teniendo resultados favorables hasta la actualidad (Buehler & Pucher, 2012).

De la misma manera, Manizales es un caso puntual en Colombia que pese a su topografía montañosa ha aumentado el uso de la bicicleta. Debido a la promoción y la implementación de políticas públicas que tienen como referencia ciudades adelantadas en la aplicación de estrategias para consolidar el uso de la bicicleta como un modo de transporte alternativo (Banco Interamericano de Desarrollo, 2017).

Actualmente, Manizales está formulando un plan de movilidad que adopta y desarrolla estrategias para el mejoramiento del uso de la bicicleta. Sin embargo, la implementación de estrategias tiene dos aspectos importantes que señalan los expertos en el tema. En primer lugar la necesidad de entender las barreras que se presentan particularmente en dicha ciudad con respecto al uso de este medio (Götschi et al., 2016) y en segundo lugar desarrollar estudios de carácter cualitativos y cuantitativos que garanticen la transferibilidad de la estrategia, es decir, conocer si la estrategia que va ser implementada se ajusta al contexto de la misma (Handy, van Wee, & Kroesen, 2014).

Por tal razón se hizo evidente la necesidad de realizar un análisis de accesibilidad de la ciudad a partir del tiempo de viaje usando la bicicleta y su relación con los estratos socioeconómicos. Para esto se ajustó la red vial de Manizales agregando al municipio de Villamaría por su conurbación con la misma, al mismo tiempo se calculó las pendientes presentes en cada uno de los arcos de la red para ser adicionada como información.

También se identificaron las velocidades teniendo en cuenta la penalidad generada por subir o bajar una pendiente. Luego se calculó los caminos mínimos de todos los nodos hacia todos los nodos y por último una interpolación espacial asignando un valor de accesibilidad de acuerdo a su referencia geográfica en el mapa de Manizales y Villamaría.

Los resultados obtenidos revelan que el tiempo de viaje usando la bicicleta se encuentra entre 30 y 60 minutos aproximadamente. A partir del análisis de accesibilidad se observó que los estratos socioeconómicos más altos tiene una mejor cobertura de sus poblaciones en términos de tiempo de viaje en bicicleta con respecto a los estratos más bajos. Finalmente, Manizales es una ciudad que puede ser recorrida en bicicleta dado que se pueden realizar recorridos con tiempos cercanos a otros medios agregando las ventajas que esto traduce en la salud, medio ambiente y movilidad de la ciudad (D. Escobar & Garcia, 2012).

2. Problema de Investigación

2.1 Planteamiento del Problema

El uso de la bicicleta es una propuesta de movilidad que toma fuerza en diferentes ciudades del mundo por sus importantes beneficios ambientales, sociales y salud (Handy et al., 2014). Esto se ha logrado a partir de una variedad de estrategias y programas que han evolucionado de acuerdo al contexto de cada ciudad en aspectos demográficos, tecnológicos y de infraestructura (Götschi et al., 2016).

Así mismo, Manizales como una ciudad emergente y sostenible (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013) durante los últimos años viene adelantando políticas para el uso de la bicicleta a partir de un programa de bicicletas públicas, carriles compartidos, incentivos y el desarrollo de un plan maestro de movilidad (Infi Manizales, 2017). Este último es importante ya que permitirá conocer los desplazamientos de los ciudadanos y a su vez tener un enfoque basado en la evidencia al momento de evaluar la efectividad de las estrategias propuestas y que podrá evitar el fracaso de las mismas o el desperdicio de recursos (Handy et al., 2014).

Sin embargo, a pesar de los esfuerzos realizados para la implementación de dichas políticas y el trabajo de grupos sociales, en la actualidad ha disminuido el uso de la bicicleta con respecto a años anteriores (Manizales Cómo Vamos, 2017a). Manizales es una ciudad con una topografía particular que se presenta como una barrera para el uso de la bicicleta y que

impide la construcción de infraestructura permanente para este medio de transporte (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013). Esto desencadena una serie de efectos en otras barreras para el uso de la bicicleta tales como la seguridad y las condiciones físicas del ciclista (Buehler & Dill, 2016; Götschi et al., 2016; Handy et al., 2014) y a su vez intervienen en la elección de rutas para el desplazamiento en la ciudad (Götschi et al., 2016).

De acuerdo con lo anterior, la elección de rutas se encuentran inmersos factores tales como distancia y tiempos de viaje, los cuales son determinantes a la hora de hacer uso de la bicicleta e incluso para hacer un cambio en el modo de transporte (Fishman, Washington, & Haworth, 2013). Para Manizales el porcentaje de viajes en bicicleta es del 1% con una cantidad de viajes inscritos de 4650 para el año 2016 (Manizales Cómo Vamos, 2017a).

Por esta razón conocer las distancias y los tiempos promedios de viaje que tienen los ciudadanos al hacer uso de la bicicleta es importante para responder a la pregunta ¿si Manizales es una ciudad ciclable?, teniendo en cuenta que la barrera topografía será un factor a considerar al momento de calcular esta información.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

- Evaluar si Manizales es una ciudad que pueda ser recorrida en bicicleta a partir de las distancias y tiempos de viaje.

3.2. Objetivos Específicos

- Calcular los niveles de pendientes presentes en cada uno de los arcos de la red vial de Manizales.
- Calcular las velocidades que tendrán cada una de los arcos de la red vial de Manizales teniendo en cuenta la penalidad por la pendiente.
- Calcularlos tiempos mínimos de viajes al hacer uso de la bicicleta en la ciudad de Manizales y Villamaría.

- Realizar un análisis de accesibilidad con los tiempos de viaje en los estratos socioeconómicos de Manizales.

4. Justificación

Los temas de accesibilidad, movilidad y exclusión social han tenido un crecimiento evidente durante los últimos años (Escobar Garcia, Diego Alexander. García Orozco, 2012; Lizarraga, Jaramillo, & Grindlay, 2011; Sabogal, Escobar, & Oviedo, 2018). Esto se debe al crecimiento poblacional y la expansión urbana que ha tenido lugar alrededor de las ciudades y que trae consigo impactos negativos en el acceso a oportunidades urbanas (United Nations Human Settlements Programme, 2011). De igual manera se han hecho investigaciones que encuentran una relación estrecha entre dichos temas y permiten definir el transporte urbano como una variable importante de la sostenibilidad de la ciudad (Boschmann & Kwan, 2008).

Los encargados de planificar las políticas y decisiones frente al desarrollo de las ciudades han estado interesados en proyectos que permitan disminuir dichos impactos (Fishman, 2016), para ello han seguido el ejemplo de ciudades que han alcanzado resultados significativos al implementar estrategias que promueven el uso de medios de transporte alternativos. De esta manera la bicicleta ha sido adoptada como una estrategia que trae consigo múltiples beneficios para toda la ciudad (Cervero, Sarmiento, Jacoby, Gomez, & Neiman, 2009). Un ejemplo de lo anterior son los 850 programas de uso de bicicleta que se extienden alrededor del mundo por parte de diferentes países (Fishman, 2016).

En Colombia, una de las ciudades que ha implementado esta estrategia de bicicletas compartidas y a su vez otras acciones para promover el uso de la bicicleta es Manizales. Estas propuestas de mejoramiento de movilidad quedan evidenciadas en el Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales en el cual se estableció la priorización de la movilidad a partir del esquema de la “Pirámide de la Movilidad Invertida” (Montalban, 2014) (Secretaria de Planeación Municipal, 2015), que se trata de un modelo de movilidad no motorizada y transporte público de calidad (Manizales Cómo vamos, 2017b).

Sin embargo, de acuerdo con encuestas y estudios realizados para el 2017, el 31% de los ciudadanos consideran que sus trayectos cotidianos están aumentando con respecto al año anterior. Lo anterior se debe al crecimiento acelerado del parque automotor (transporte privado) y la disminución del uso del transporte público. A pesar de que estas variaciones

en las cifras de viajeros en medios de transporte sostenibles (transporte público, bicicleta y a pie) son bajas, el transporte privado sigue tomando una mayor satisfacción entre los ciudadanos como modo de transporte a elegir (Manizales Cómo Vamos, 2017a).

Cabe señalar que los viajes reportados por el sistema de bicicletas públicas han sido de 106.509, siendo en porcentaje el 1% del total viajes de la ciudad (Manizales Cómo Vamos, 2017a). La administración ha señalado que la ciudad por su topografía montañosa no ha realizado avances en infraestructura para el uso de la bicicleta (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013), pero si ha implementado carriles compartidos.

No obstante el entorno tiene un grado de influencia para el uso de la bicicleta (Wuerzer & Mason, 2015) y como era mencionado Manizales cuenta con un contexto particular dada su topografía montañosa y su conurbación con el municipio de Villamaría. Por esta razón se hace necesario realizar estudios e investigaciones que tengan en cuenta dichas condiciones e identifiquen las características básicas de movilidad (Distancia, tiempo y velocidad) (Schantz, 2017) al hacer uso de la bicicleta dentro de la ciudad. A su vez contribuirá un mayor conocimiento para el mejoramiento de rutas que pueda cubrir la bicicleta.

5. Marcos de Referencia

5.1. Marco Teórico

El transporte urbano y la movilidad son aspectos que evolucionan simultáneamente con el desarrollo de las ciudades, y que tienen como objetivo facilitar a las personas un mejor acceso a oportunidades y servicios (Iacobucci, Hovenkotter, & Anbinder, 2017) (Wachs & Kumagai, 1973). Por esta razón el uso de la bicicleta ha tomado un interés creciente como medio de transporte por parte de los gobiernos y que hace también una contribución en temas ambientales y de salud. (Fishman, 2016; Parra, Gómez, Sarmiento, & Schmid, 2012).

Por otro lado, la bicicleta es un modo de transporte que puede incorporarse fácilmente en la vida cotidiana dados los beneficios físicos y económicos para quienes la usan (Fishman et al., 2013). Sin embargo, algunos estudios han señalado que el uso de la misma se ve condicionada por el nivel de tráfico motorizado presente en la ciudad (Aldred, Woodcock, & Goodman, 2016; Buehler & Dill, 2016; Wuerzer & Mason, 2015), generando así una segmentación en la población, donde el 60% muestra un interés por hacer uso de la bicicleta pero se preocupa por no tener carriles exclusivos (Geller, 2005).

Lo anterior muestra una de las barreras que se presenta al momento de hacer uso de la bicicleta como es la seguridad percibida (de Sousa, Sanches, & Ferreira, 2014; Götschi et al., 2016). La cual tiene dos orientaciones, la primera es de carácter objetivo haciendo referencia a la infraestructura y la accidentalidad mientras que la segunda es de tipo subjetiva mencionando las experiencias y habilidades del ciclista (Heinen, van Wee, & Maat, 2010).

De hecho existen otras barreras en términos de distancia, tiempos de viaje y pendientes (de Sousa et al., 2014). Al igual se suma por parte de algunos autores los efectos negativos de la topografía para el uso de la bicicleta (Cervero et al., 2009; Troped et al., 2001). Entender estas barreras en particular permitirá crear estrategias específicas y direccionar políticas en las ciudades (Fishman, 2016; Götschi et al., 2016; Handy et al., 2014).

5.1.1. Distancia

Dentro de la literatura, la distancia es una variable que debe ser tomada en cuenta para promover el uso de la bicicleta. Debido a su asociación negativa por parte de algunas personas al momento de hacer uso de la misma. Esta barrera también genera una brecha de acuerdo al género, influye en la percepción de seguridad que tiene el usuario y a su vez lo llevan a considerar con qué infraestructura cuenta para hacer uso de este modo de transporte (de Souza et al., 2014; Heinen et al., 2010; Wuerzer & Mason, 2015).

Un estudio señala que la distancia promedio de recorrido haciendo uso de la bicicleta puede tomar valores entre los 5-7 km (Wuerzer & Mason, 2015), mientras que otro muestra un máximo de 10 km (Cervero et al., 2009). Esto puede variar en los estudios de acuerdo a lo mencionado anteriormente pero también al considerar la topografía y el entorno de las ciudades (Heinen et al., 2010). Por esta razón los estudios realizados deberán tener en cuenta la totalidad de la red vial de una ciudad y así considerar las condiciones particulares que se presentan (Fishman, 2016; Willis, Manaugh, & El-Geneidy, 2015).

5.1.2. Velocidad

La variabilidad en la velocidad se aprecia en cualquier modo de transporte, ya sea por la infraestructura, el clima, las capacidades técnicas del modo o la congestión vehicular que se presente dentro de la red en la que se desplaza. Para la bicicleta estas consideraciones también tienen su efecto al momento de medir la velocidad. Sin embargo, hay aspectos como la inclinación del terreno, el propósito del viaje y la regulación de la velocidad por

parte del usuario (Schantz, 2017; Wahlgren, Stigell, & Schantz, 2010) los cuales también tienen una incidencia.

Por estas razones, algunos organismos han reconocido que la velocidad promedio en bicicleta es de 14 km/h (World Health Organization Regional Office for Europe, 2014) , esto dado en terrenos planos. Por el contrario, para algunos las velocidades promedio pueden bajar de 14 hasta 10 km/h al hacer uso de la bicicleta en horas de la tarde luego de haber realizado algunas actividades (Fishman et al., 2013). Por esto, calcular la velocidad teniendo en cuenta las pendientes arrojará otros resultados de la velocidad tanto de subida como de bajada para dichas pendientes (Cervero et al., 2009; Heinen et al., 2010; Troped et al., 2001).

5.1.3. Tiempo

Para el tiempo, siendo una variable relacionada con las anteriores, se ha tenido en cuenta en estudios al momento de hacer evaluaciones económicas, de salud y modelado de tráfico (Schantz, 2017). Por otra parte, es tenido en cuenta al momento de competir con otros medios de transporte para generar ahorros al momento de desplazarse los ciudadanos (Wuerzer & Mason, 2015). También el propósito de viaje tendrá un efecto con el tiempo de llegada al destino desde un punto de origen (Handy et al., 2014). Es debido considerar que al mencionar un aumento o disminución en la distancia, una velocidad mayor o menor a los 14 km/h y a su vez los efectos de la pendiente generaran cambios en el tiempo utilizado al momento de ir en bicicleta (Heinen et al., 2010; Troped et al., 2001).

5.2. Marco Conceptual

Al momento de formular este proyecto se hace necesario aclarar los términos utilizados ya que hacen parte de temas como movilidad y transporte, estas son las palabras:

Accesibilidad Geográfica: Se refiere a la facilidad de comunicación que existe, o puede existir, entre diferentes sectores, comunidades o actividades, a través del uso de uno o varios modos de transporte (Morris, Dumble, & Wigan, 1979)(Younes, Escobar, & Holguín, 2016)

Arcos de Red: Son los segmentos o tramos que permiten conectar un nodo con otro nodo dentro de la red de transporte, es decir, referencias las calles, carreras, avenidas o caminos que se presentan en la red vial.

Bicicleta: Es un vehículo de dos ruedas, normalmente de igual tamaño, cuyos pedales transmiten el movimiento a la rueda trasera por medio de un plato, un piñón y una cadena, actualmente existen algunas con motores eléctricos para ayudar a la tracción. (Real Academia Española, s.f.)

Ciclable: Es un término que recoge todo lo relacionado con la adaptación y el uso de un lugar para realizar un desplazamiento en bicicleta (Fundéu BBVA, 2010) (Astigarraga, 2011).

Cycling (palabra en inglés): Traducción: Recorrer en Bicicleta.

Desplazamiento: Se utiliza para dar cuenta del traslado de alguien o algo, de un lugar a otro (Ucha, 2013).

Infraestructura: Son las características físicas de la red vial que facilitan un espacio seguro y conveniente para el usuario (Flores R. R., Taddia, Pardo, & Lleras, 2015).

Movilidad: La capacidad de moverse sin impedimentos, de forma segura y eficiente utilizando un sistema de transporte confiable (North Carolina Department of Transportation, s.f.).

Programa de Bicicletas: Es un sistema público de bicicletas que se encarga del préstamo de las mismas dentro de una zona urbana, donde se puede recoger y dejar en numerosos puntos, es decir, estaciones (Gris Orange Consultant, 2011).

Red de Transporte: Es una infraestructura necesaria para la circulación de los vehículos que transportan personas o mercancías (Larrodé, Gallego, & Fraile, 2011)

Rutas: Es la definición de un camino entre dos puntos o nodos, desde un punto de partida hasta un punto de terminación (Business Dictionary, 2018).

Sostenibilidad: Es un concepto que pretende movilizar la responsabilidad colectiva para hacer frente al conjunto de graves problemas y desafíos a los que se enfrenta la humanidad, apostando por la cooperación y la defensa del interés general (Vilches, Macías, & Gil, 2012).

Topografía: Es la ilustración detallada y precisa de las características naturales y artificiales del suelo, como carreteras, contornos, elevaciones y ríos (Natural Resources Canada, 2018).

Transporte Alternativo: Se refiere a los desplazamientos de cualquier manera que no sea conducir solo, es decir, hacer uso de medios como bicicleta, caminata y transporte público (Green Plus, 2011).

5.3. Marco Espacial

5.3.1. Economía

El departamento de Caldas durante los últimos dos años según cifras presentadas por el DANE ha tenido una reducción de 0,6% en su crecimiento económico. Esto se enmarca dentro de un crecimiento inferior al total nacional e inferior al del departamento de Risaralda (Manizales Cómo vamos, 2017b). De hecho, Manizales siendo la ciudad capital del departamento representa el 45% del total de producción departamental.

Otros datos considerables en temas económicos de la ciudad serían inflación y desempleo. En primer lugar, la inflación durante el último año tuvo una disminución de 1,5% con respecto al año anterior de la economía de la ciudad, a pesar de eso se constituyó como la tercera ciudad de Colombia con mayor inflación junto a Medellín y Barranquilla.

En segundo lugar, la tasa de desempleo en la ciudad aumento de 9,6% en 2015 al 10,3% para el 2016. Esto se debe a la dinámica que ha tenido el mercado laboral local, donde la demanda de trabajo (ocupación) disminuyo mientras que la oferta de trabajo (participación) aumento. Seguido de esto, es debido considerar que la ciudad es un punto central de empleos para quienes viven en municipios como Chinchiná y Villamaría (Manizales Cómo vamos, 2017b).

5.3.2. Límites

Manizales es una ciudad del departamento de Caldas, que se encuentra en el centro-sur del mismo, como limites se encuentra:

- Al Norte, se encuentra el municipio de Neira
- Al Sur, con el municipio de Chinchiná

- Al Occidente, con el municipio de Palestina
- Al Oriente, con el municipio de Villamaría

Estos municipios hacen parte del área metropolitana de Manizales

5.3.3. Población

De acuerdo a las estadísticas del DANE para la ciudad de Manizales, su población llega a las 397.466 habitantes, distribuida en un 93% en el sector urbano y un 7% en el sector rural. A pesar que durante los últimos años se ha presentado una disminución progresiva en el porcentaje de crecimiento poblacional, se observa un comportamiento creciente en la zona urbana de acuerdo a desplazamientos desde la zona rural. Conjuntamente la cantidad de personas activas para la ciudad que van desde los 15 años hasta los 59 años son 255.890 personas (Alcaldía de Manizales, 2016).

5.3.4. Transporte

La ciudad de Manizales pertenece a la subregión Centro-Sur de Caldas, de la cual hacen parte también los municipios de Villamaría, Chinchiná, Neira y Palestina. Estos municipios tienen una incidencia en Manizales, por los desplazamientos que realizan sus habitantes hacia esta por temas laborales, de estudio o por acceso a servicios (Manizales Cómo vamos, 2017b).

Debido a lo anterior, la ciudad presenta problemas en materia de movilidad, como lo son la congestión vehicular, contaminación del aire y aumento en el transporte privado (D. A. Escobar, Martínez, & Moncada, 2016; Younes et al., 2016). Por esta razón durante los últimos años viene impulsando propuesta que involucran el uso de medios de transporte sostenible. Algunas de las propuestas han involucrado la creación de líneas de cable aéreo, mejoramiento de rutas de servicio público y un programa de bicicletas públicas.

Además, viene adelantando un plan maestro de movilidad con el cual quieren estudiar cuatro aspectos que son matriz origen-destino, estudio de pico y placa, pre-factibilidad de dos líneas de cable aéreo e integración con el plan maestro de espacio público (Infi-Manizales, 2016). Dentro de estos aspectos la matriz origen-destino es un instrumento que permitirá recolectar información importante de los desplazamientos realizados por los ciudadanos y a su vez los modos de transporte utilizados por los mismos.

No obstante, la promoción del uso de la bicicleta debe considerar diferentes aspectos sociales, técnicos y tecnológicos que a su vez se ven influenciados por un entorno particular. Esto permite la realización de investigaciones que ayuden a la solución de problemas y también al levantamiento de información que puede ser considerada al momento de la planeación de la ciudad y el incentivo de medios de transporte sostenibles.

5.4. Marco Temporal

El período de ejecución del estudio de evaluación si Manizales es una ciudad que se pueda recorrer en bicicleta en términos de distancias y tiempos promedios será de enero a junio del año 2018.

5.5. Marco Legal

En Latinoamérica, el uso de la bicicleta es uno de los medios de transporte que sigue tomando fuerza en conjunto con el fortalecimiento del transporte público, esto debido a los problemas de movilidad presentes en las ciudades de crecimiento acelerado de la población (Flores R. A., Taddia, Pardo, & Lleras, 2015).

Por tal motivo, los gobiernos se han visto en la tarea de crear políticas y planes de acción que promuevan el uso de este medio, vinculándose con organismos internacionales, sectores privados y la comunidad en general que apoyan esta causa. En el caso de Colombia, el Congreso emitió para el año 2006 la ley 1083 en su artículo primero:

Con el fin de dar prelación a la movilización en modos alternativos de transporte, entendiendo por estos el desplazamiento peatonal, en bicicleta o en otros medios no contaminantes, así como los sistemas de transporte público que funcionen con combustibles limpios, los municipios y distritos que deben adoptar Planes de Ordenamiento Territorial en los términos del literal a) del artículo 9º de la Ley 388 de 1997, formularán y adoptarán Planes de Movilidad según los parámetros de que trata la presente ley (Congreso de la República de Colombia, 2006).

Esto ha sido atendido durante la última década por ciudades del país empleando estrategias en el mejoramiento del transporte público, implementando sistemas masivos de transporte, cables aéreos, tranvía e infraestructura y servicios para el uso de la bicicleta. Para este último medio de transporte para el año 2016, el (Congreso de la República de Colombia, 2016) instauró la Ley 1811, que tiene como objeto “Incentivar el uso de la bicicleta como medio principal de transporte en todo el territorio nacional; incrementar el número de viajes

en bicicleta, avanzar en la mitigación del impacto ambiental que produce el tránsito automotor y mejorar la movilidad urbana”.

Además de la normativa presente en Colombia para el uso de la bicicleta como un medio de transporte sostenible, algunas ciudades del país hacen parte del programa del Banco Interamericano de Desarrollo conocido como “Ciudades Emergentes y Sostenibles”. Manizales se encuentra vinculada y como uno de sus finalidades busca fortalecer el transporte público y no motorizado a partir de la inversión en nuevos proyectos (Banco Interamericano de Desarrollo, 2011).

Al mismo tiempo, la Alcaldía presentó un proyecto para la implementación de un sistema de movilidad autónoma sostenible llamado “Manizales en Bici” (Concejo Municipal de Manizales, 2015). Este proyecto en la actualidad se viene ejecutando e incluso ha aumentado sus instalaciones y dotación de bicicleta para prestar el servicio de los ciudadanos. También se le suma la creación de la oficina de la Bicicleta en la cual están involucrados diferentes sectores empresariales y educativos.

Lo anterior sigue los lineamientos planteados en la Ley 1811 del 2016 en su artículo 10 que define una planeación participativa para el mejoramiento de la movilidad, el tránsito y el transporte, pero también los artículos 11 y 12 que impulsan el desarrollo de programas en instituciones educativas que promuevan el uso de la bicicleta (Congreso de la República de Colombia, 2016).

6. Hipótesis

¿La distancia y los tiempos promedios de viaje en bicicleta se ven afectados por la topografía de la ciudad de Manizales?

¿Cómo se ve afectada el uso de la bicicleta al evaluar las distancias y los tiempos de viaje para este medio de transporte?

7. Aspectos Metodológicos

7.1. Tipo de Investigación

La investigación que se viene adelantando es de tipo cuantitativa con un alcance descriptivo-exploratorio debido a la elaboración de una evaluación de tiempo, distancia y velocidad consideradas como barreras al momento de promover el uso de la bicicleta y asimismo un problema poco estudiado en Colombia, al agregar un factor de penalidad para cada una de las pendientes presentes en la topografía de Manizales.

7.2. Métodos de Investigación

La investigación presentará un proceso deductivo, de acuerdo a un análisis realizado a partir de información geoespacial en un software libre conocido como QGIS y el lenguaje de programación R.

7.3. Fuentes y técnicas para la recolección de la información

Dentro de la presente investigación se hará uso de información secundaria a partir de bases de datos como la Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), Alcaldía Municipal de Manizales, Open Street Map y artículos científicos. El objetivo de las bases de datos será recolectar información geoespacial que será añadida a la red vial de Manizales que está siendo estudiada. Finalmente, los artículos científicos son aprovechados para hacer una revisión bibliográfica sobre el uso de la bicicleta y a su vez como la topografía se convierte en una barrera para el uso de la misma, dado que Manizales tiene un entorno particular.

Además de hacer uso de uno de los servidores del Grupo de Investigación Sirius, en el cual se encuentran cada uno de los programas utilizados para el análisis de la información recolectada.

7.4. Tratamiento de la información

Dado que la información a utilizar dentro de esta investigación es de tipo geográfica se utilizara un análisis espacial, este es un proceso que permite manipular información espacial para extraer información nueva y significativa a partir de datos existentes proceso que se puede llevar a cabo a través de QGIS (Sutton, 2009). También el uso de TransCAD para el cálculo de caminos mínimos y a su vez RStudio para lo que concierne al organizar la información.

8. Cronograma

Tabla 1 Diagrama de Gantt

Actividades	Febrero					Marzo				Abril					Mayo				
	Semanas																		
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	
Conseguir la Red Vial de Manizales	■	■																	
Revisar la conectividad de la Red Vial		■	■																
Añadir información de pendientes a la Red Vial a partir del DEM			■	■															
Realizar una revisión del estado del arte					■	■	■												
Analizar los artículos seleccionados de acuerdo al tema						■	■	■	■	■	■								
Extraer información para las variables investigadas										■	■								
Calcular los tiempos de cada nodo a cada nodo												■							
Realizar una interpolación espacial													■						
Capturar los datos														■					
Tabular información resultante														■	■				
Llevar acabo análisis de la información															■	■	■		
Elaborar documento final																■	■	■	
Presentar resultados obtenidos																		■	

9. Caso de Estudio

Para llevar a cabo esta investigación se necesitó recopilar información geográfica de la ciudad de Manizales en dos temas particulares. El primero consiste en la información topográfica para lo cual se utilizó un portal conocido como “Alaska Satellite Facility” (University of Alaska Fairbanks, s.f.), que ofrece imágenes o archivos ráster de mapas de superficie para un determinado territorio. Este tipo de archivo consta de una matriz de celdas o píxeles organizadas en filas y columnas en la que cada celda contiene datos continuos que representa el fenómeno de elevación. Para el caso de estudio el archivo ráster tiene una medida de cada pixel en (12,5 m x 12,5 m) permitiendo una información más precisa de la zona, esto al ser comparado con otros archivos obtenidos que tenían como medida (40 m x 40 m).

En segundo lugar se requería de la red vial de Manizales, ya que este archivo de información está comprendido por nodos y arcos se debía realizar un análisis de

conectividad a la red para garantizar los futuros resultados a partir de esta información. Por tal razón la primera herramienta utilizada fue la ofrecida por el Software Qgis que consiste en la descarga de capas vectoriales y de líneas a partir de la base de datos abiertos conocida como Open Street Map. Este archivo presentaba errores de conectividad lo que llevo a solicitar al Profesor Diego Alexander Escobar García del Departamento de Ingeniería Civil en la Universidad Nacional Sede Manizales un archivo con la red vial de Manizales que ellos han utilizado en otras investigaciones (Departamento de Ingeniería Civil, 2018). Además de realizar el análisis de conectividad también se debía considerar que la red vial estuviera actualizada de acuerdo a los cambios presentados en la ciudad durante los últimos años.

El anterior archivo fue recibido y fue sujeto al análisis de conectividad teniendo un resultado aceptable en la conexión de sus arcos y sus nodos. Este proceso se realizó a partir del módulo de análisis de redes que ofrece el Software TransCAD, el cual es un sistema de información geográfico que permite combinar las propiedades de un SIG con las capacidades de modelación del transporte (Caliper Mapping & Transportation Software Solutions, 2008). Llegado a este punto se añadieron los dos archivos al Software Qgis para establecer la misma proyección de coordenadas para los futuros cálculos y análisis evitando posibles errores.

Luego de terminado el proceso de recolección de la información geográfica de la ciudad se llevaron a cabo una serie de cálculos para añadir a la capa de la red de Manizales las variables concerniente a niveles de elevación y las velocidades que tomaran los usuarios de bicicletas en cada una de las calles, carreteras y avenidas de la ciudad de acuerdo a dicha pendiente. Para esto se mencionan a continuación los procedimientos realizados:

9.1. Cálculo Pendiente

Con referencia a lo dicho anteriormente el archivo ráster nos permitirá extraer la información de la elevación o pendiente que tiene la ciudad de Manizales. Uno de los procesos que puede ser realizado para esto se describe a continuación:

Primero se utilizará una de las funciones con las que cuenta Qgis conocida como “Pendiente” para realizar dicho cálculo de las pendientes a partir del archivo ráster. Esto se encuentra en la barra de herramientas en el menú Ráster, seguido de la opción “Análisis-Pendiente” (Imagen 1).

Seguido de esto se establecieron los parámetros y la capa de entrada (archivo ráster) para el cálculo de las pendientes. Este utiliza una estimación derivada de primer orden para calcular el ángulo de la pendiente siguiente las cláusulas de programación lógica de Horn. Sin embargo, dentro de los parámetros se puede obtener como resultado el porcentaje de pendiente y no el grado. Dentro del caso de estudio se utilizó el porcentaje (Imagen 2).

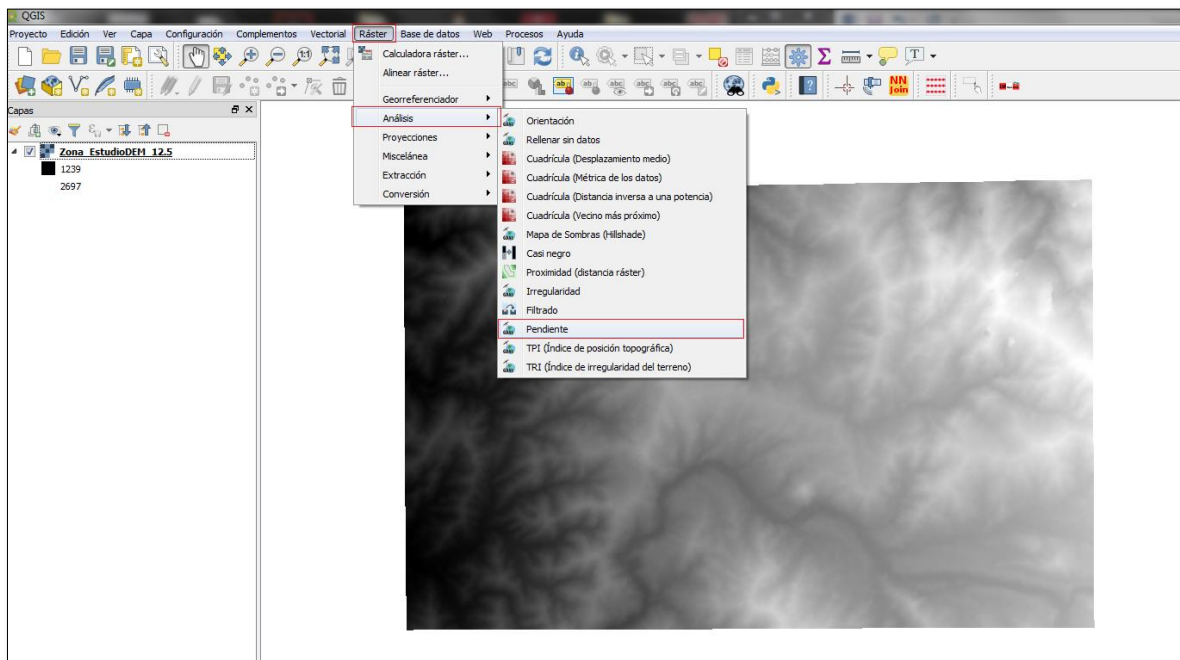


Ilustración 1 Complemento Análisis de Terreno

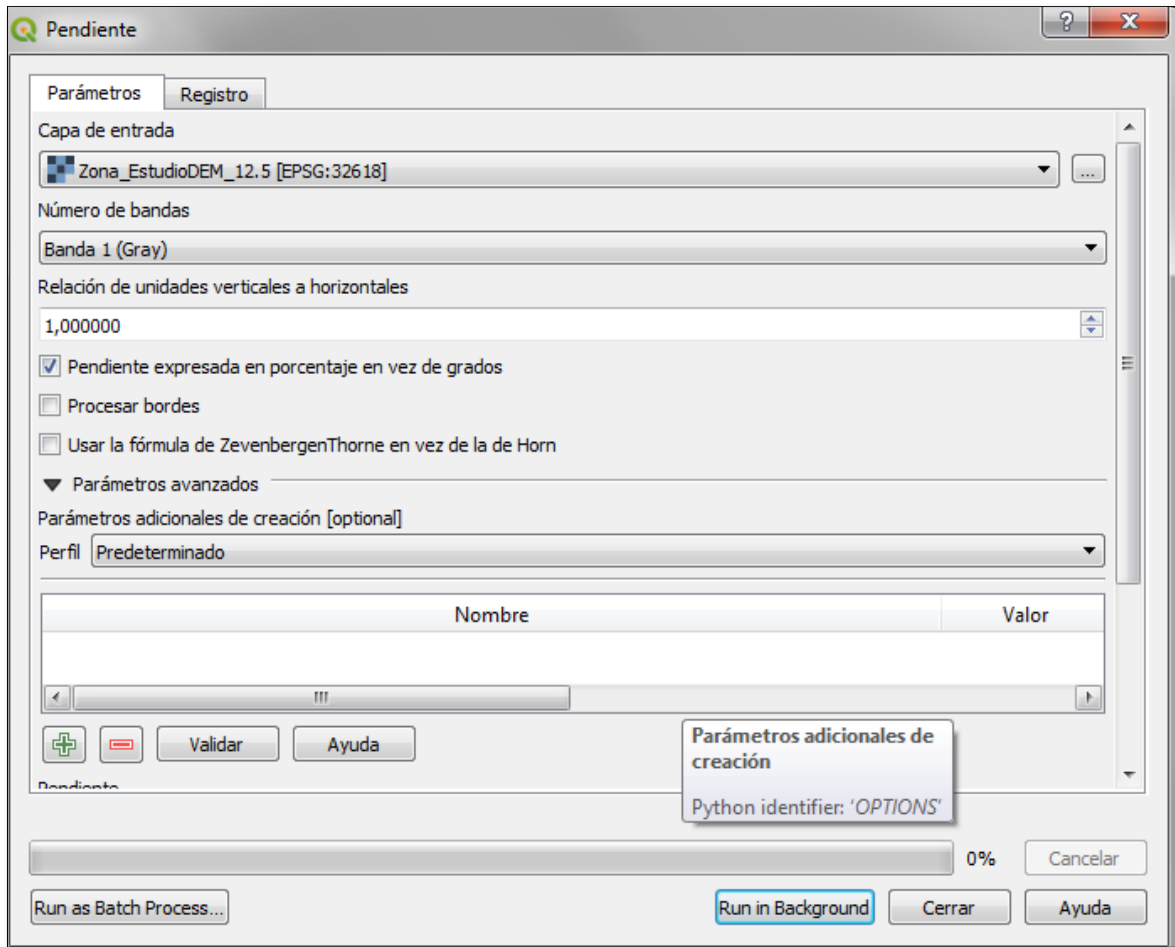


Ilustración 2 Cuadro de Texto Función Pendiente Qgis

Luego se obtendrá un archivo ráster, el cual contiene en cada uno de sus pixeles la información de la pendiente calculada. Cabe señalar que esta información no se encuentra dentro de una tabla de atributos, es decir, una base de datos (Imagen 3). Para esto se continuará con un proceso conocido como reclasificación con el cual se busca guardar la información del archivo ráster a partir de una categorización de la pendiente.

Para realizar la categorización de las pendientes se utilizó una función del software Qgis llamada “R.reclass” asociada al complemento GRASS, este permitirá crear una capa con los valores de pendiente a partir de la asignación de categorías. Dado que es información relevante para los cálculos, se establecieron el máximo de categorías posibles para esta clasificación que consta de 255 intervalos (Imagen 4). También se realizó un archivo de texto que contuviera las reglas para la categorización de las pendientes, este se hizo en la herramienta de Windows conocida como Bloc de Notas con extensión “.txt” (Imagen 5).

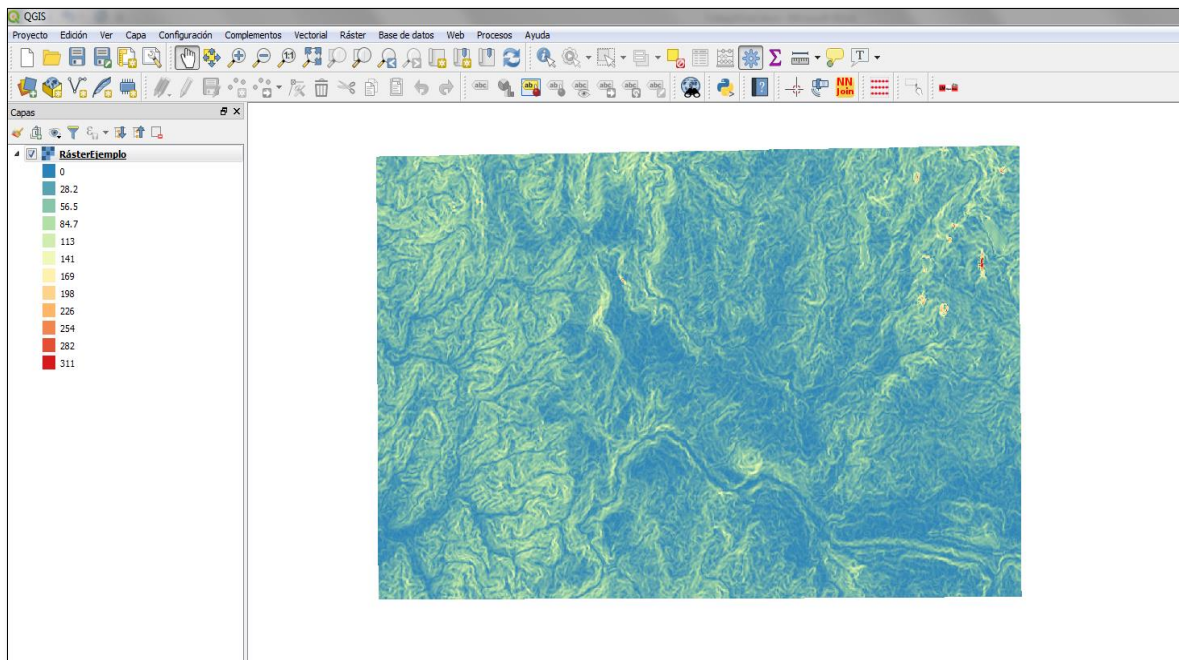


Ilustración 3 Ráster de Pendientes

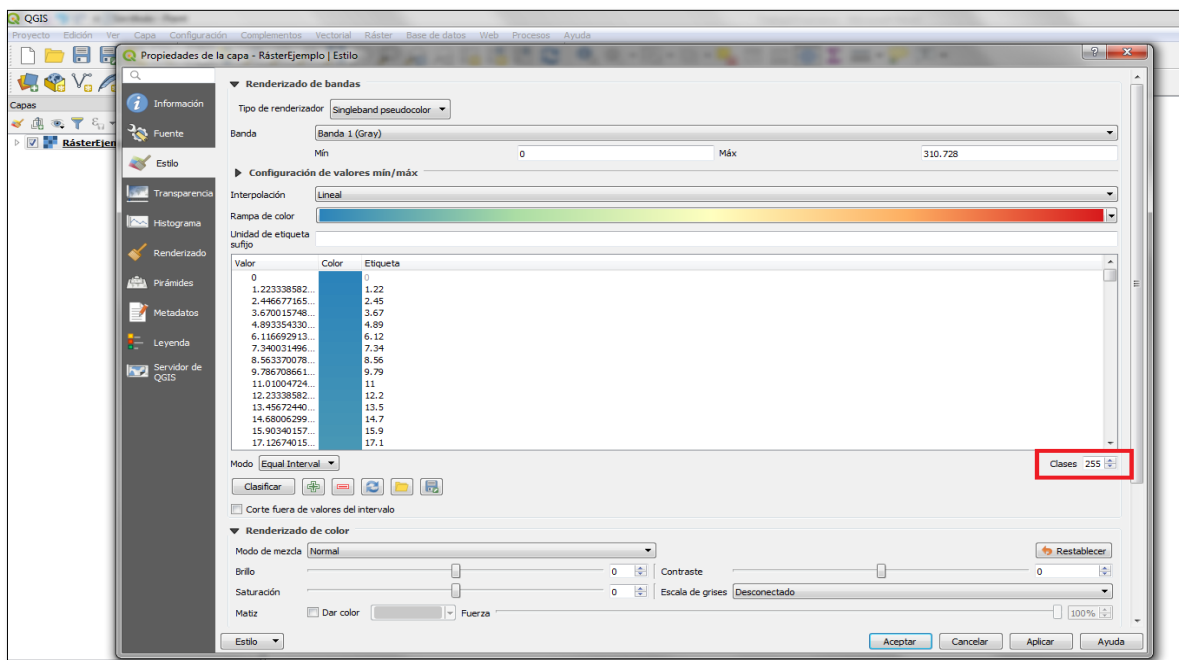


Ilustración 4 Categorías Posibles

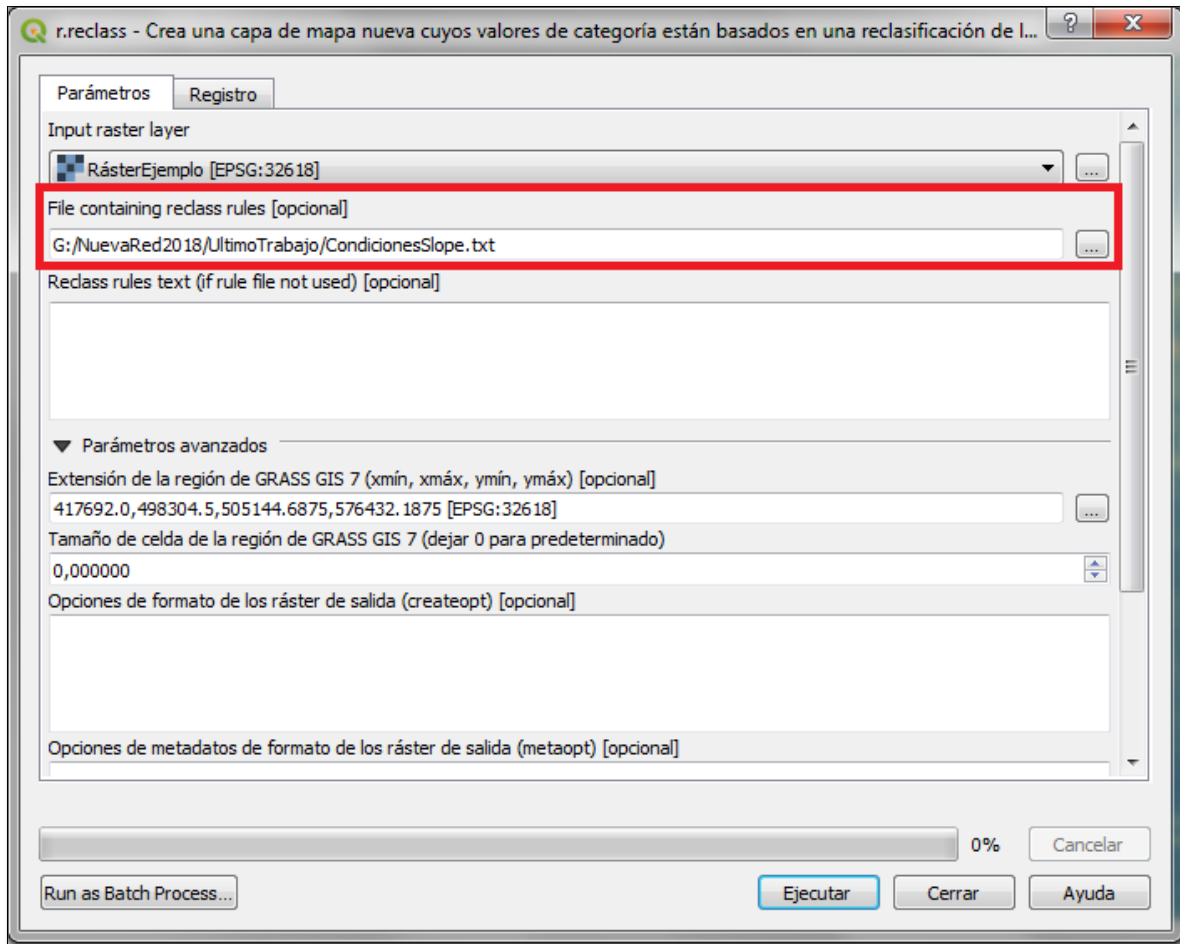


Ilustración 5 Parámetros de R.reclass

Se observó que tanto el archivo “Ráster Pendiente” como el archivo “Ráster Reclassified” son similares en los valores aceptando una constancia en los datos calculados para la pendiente como la categorización de la misma (Imagen 6). Al tener esta categoría se continuará con el paso de convertir el archivo ráster “Reclassified” en una capa vectorial para así obtener una base de datos que contenga la información de las pendientes de la zona.

Como se mencionó anteriormente para convertir el archivo ráster se usó la barra de herramientas en el menú Ráster, seguido de la opción “Conversión-Poligonizar” (Imagen 7). Es debido aclarar que si no se efectúa el paso anterior de categorización la información que está en el archivo ráster no tendrá datos para convertirlo en una capa vectorial. Para el caso de estudio se le dará como nombre “Pendiente” al campo que se creará en la capa vectorial (Imagen 8).

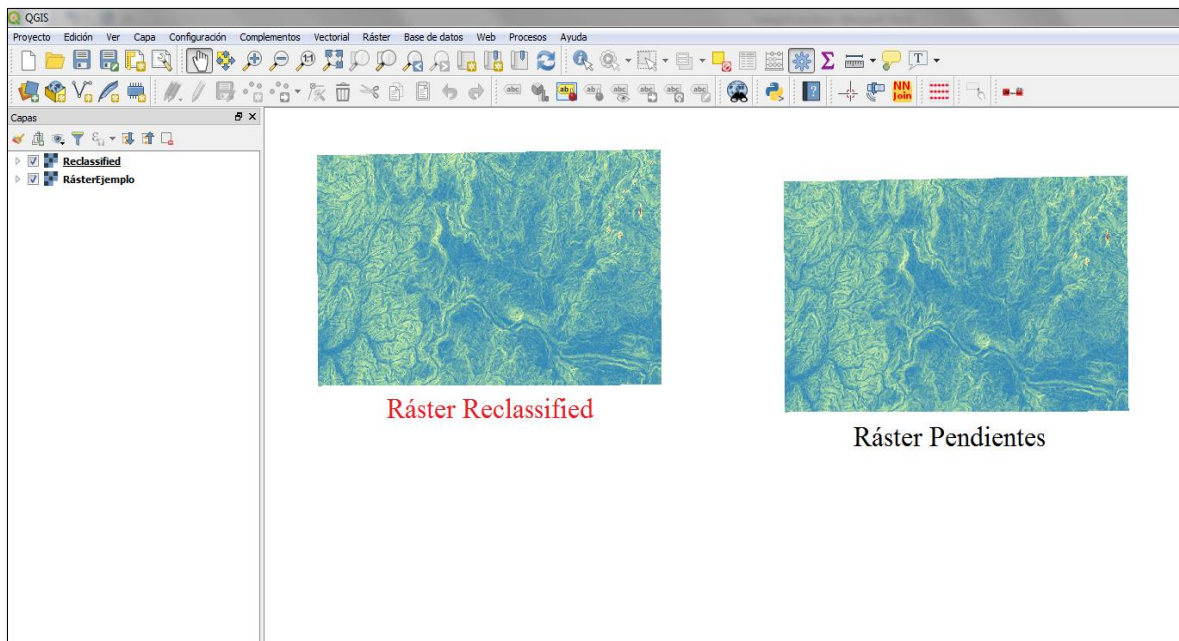


Ilustración 6 Comparación entre Archivos Ráster

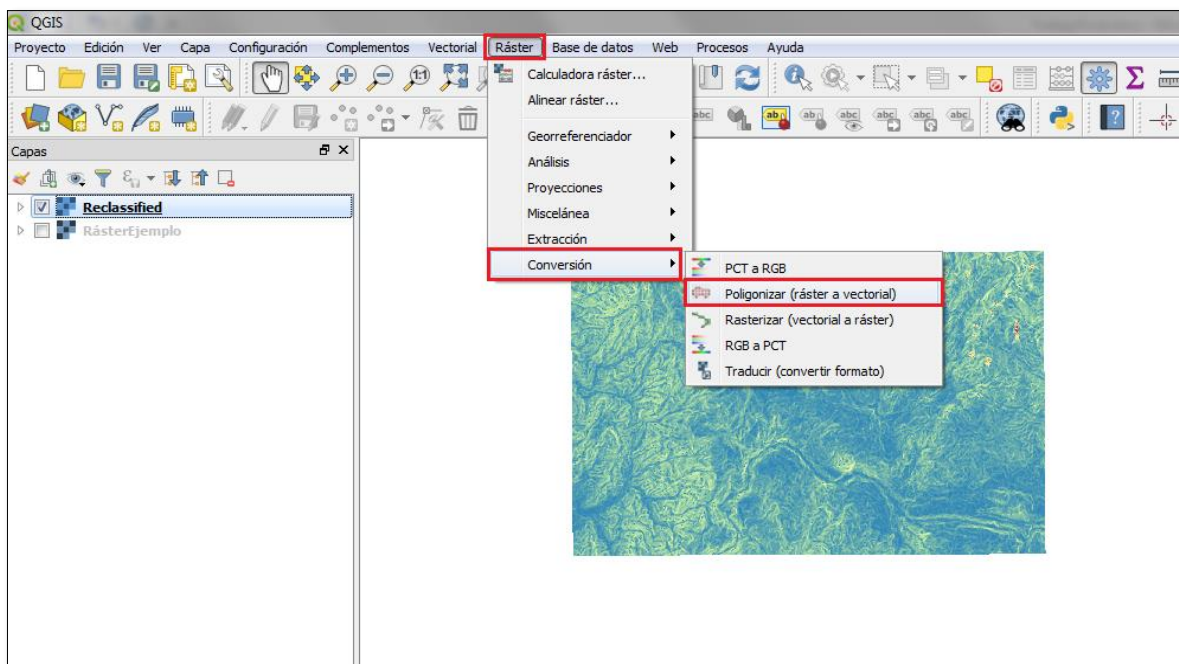


Ilustración 7 Complemento de Conversión

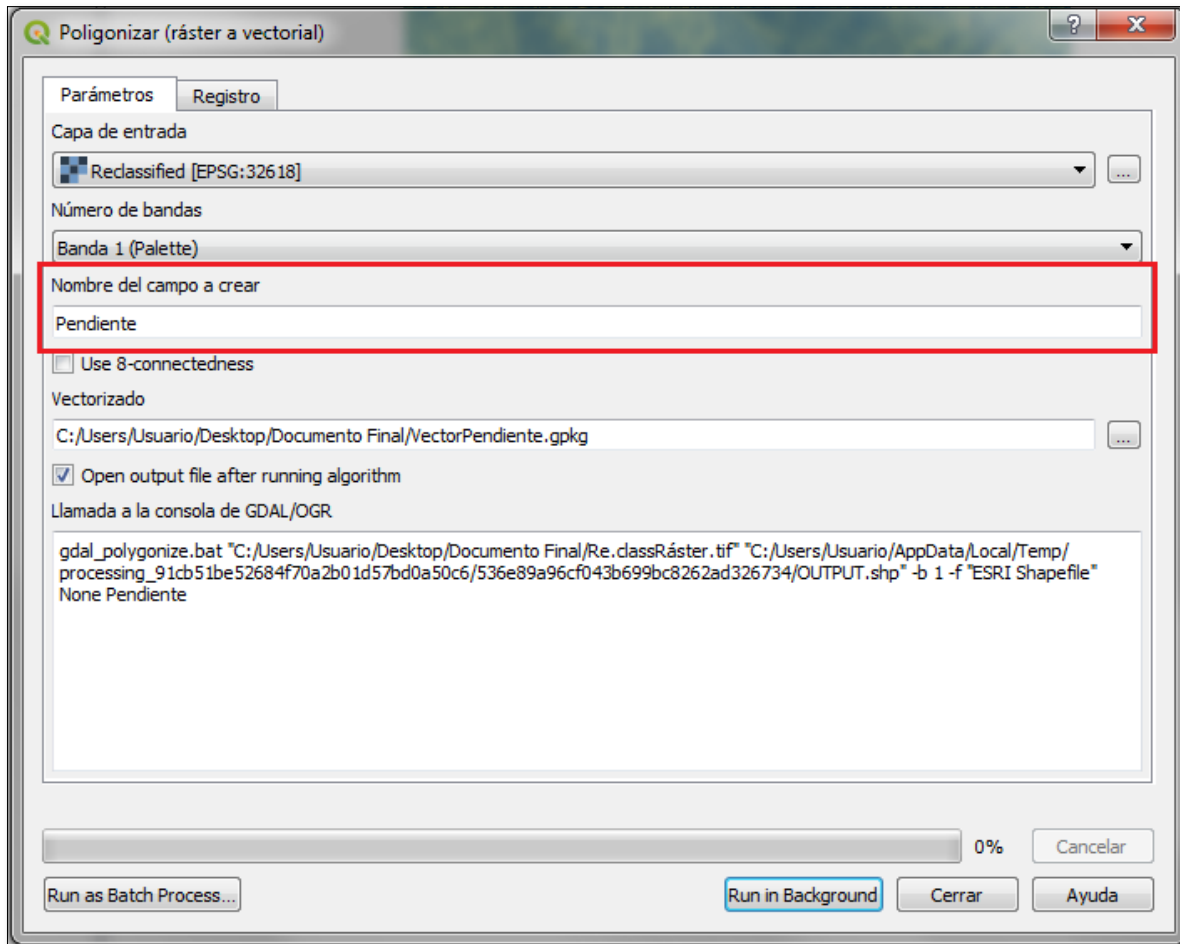


Ilustración 8 Parámetros Conversión de Ráster

Al tener la información de las pendientes en una capa vectorial se podrá implementar uno de los complementos conocido como “Spatial Join”, a través del cual se unirá la información que tiene la capa vectorial con la capa de líneas de la red vial de Manizales. En este proceso debe considerarse que cada uno de los arcos puede intersectarse con varios cuadros de atributos de la capa vectorial. Por esa razón dentro de los parámetros se debe establecer que el algoritmo del complemento extraiga la sumatoria, el máximo y mínimo, la media y la mediana de pendientes que fueron intersectadas por ese arco.

Por último, el archivo que contenía la información de la red vial de Manizales con las pendientes relacionadas a cada uno de los arcos, se le efectuó una limpieza a los datos que entre su máximo y su mínimo valor de pendiente tenían una gran diferencia provocando que la media se desviara de un valor real. Esto fue bajo la observación de la zona para

dichos arcos y como se presentaban errores en el cálculo pero que no tienen incidencia relevante.

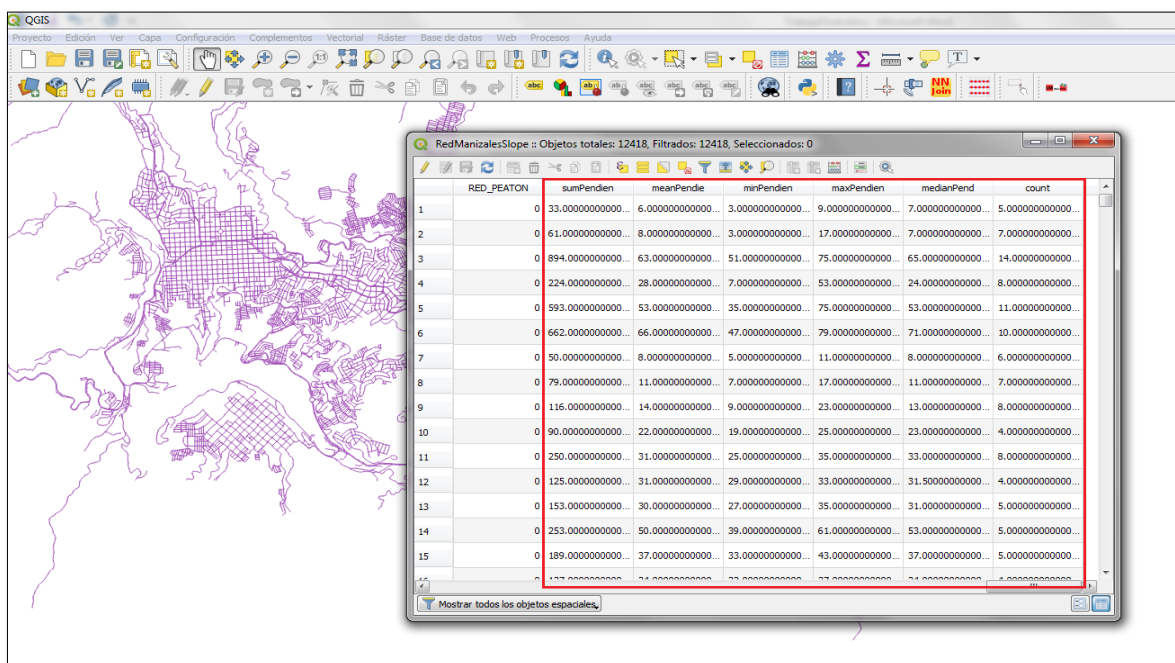


Ilustración 9 Cuadro de Atributos Red Vial Manizales

9.2. Cálculo Velocidades

La variable velocidad dentro del caso de estudio es importante para el cálculo de los tiempos promedios de viaje y las distancias ya que en ella se debe tener en cuenta el efecto que la pendiente tendrá al momento de movilizarse el usuario de la bicicleta dentro de la red vial de Manizales. Para esto se tuvo en cuenta datos de velocidad encontrados en los artículos revisados los cuales daban velocidades promedio para diferentes ciudades en el mundo entre 15km/h y 22 km/h (Fishman et al., 2013; Jensen, Rouquier, Ovtracht, & Robardet, 2010; Schantz, 2017) (Metcalf, 2016) (Alter, 2010), por tal razón se estableció que la velocidad en vías con 0% de inclinación tomaría un valor de 17,5 km/h. También se observó que existían velocidades calculadas para pendientes del 4% con un valor de 6,5 km/h (Hennekam, 1990).

Estas velocidades fueron tenidas en cuenta para ser asignadas a los valores de pendiente respectiva, pero también se hizo uso de la fórmula planteada por Wim Hennekam en su artículo “The speed of a cyclist” en el que toma como referencia autores anteriores que

abordaron el tema. Otra fórmula fue la planteada por el sitio web “Climbing Cyclist” que modifica la anterior fórmula por porcentajes de pendiente (The Climbing Cyclist, 2013). En primer lugar veremos las fuerzas involucradas en la fórmula para el cálculo de la fuerza total (F_T) aplicada para hacer uso de la bicicleta (Hennekam, 1990) y que posteriormente se despejaría la variable velocidad:

$$F_i = mg \sin \alpha$$

Ecuación 1 Fuerza por la Inclinación de Superficie

F_i = Fuerza por la Inclinación de Superficie

m = Masa del usuario de la bicicleta

g = Gravedad de la zona de estudio

α = Grado de inclinación

$$F_r = C_r mg \cos \alpha$$

Ecuación 2 Fuerza de Resistencia de Rodamiento

F_r = Fuerza de Resistencia de Rodamiento

C_r = Coeficiente de Resistencia de Rodamiento

m = Masa del usuario de la bicicleta

g = Gravedad de la zona de estudio

α = Grado de inclinación

$$F_d = \frac{1}{2} C_d A \rho V_r^2$$

Ecuación 3 Fuerza de Arrastre

F_d = Fuerza de Arrastre

C_d = Coeficiente de Arrastre

A = Área ocupada por la bicicleta y el ciclista

ρ = Densidad del aire de la zona de estudio

V_r = Velocidad promedio de la bicicleta

$$F_T = F_i + F_r + F_d$$

Ecuación 4 Fuerza Total Número 1

F_T = Fuerza Total

F_i = Fuerza por la Inclinação de Superficie

F_r = Fuerza de Arrastre

F_d = Fuerza de Resistencia de Rodamiento

Si se reemplaza los términos la fórmula para la Fuerza Total será la siguiente:

$$F_T = mg \sin \alpha + C_r mg \cos \alpha + \frac{1}{2} C_d A \rho V_r^2$$

Ecuación 5 Fuerza Total Número 2

De acuerdo con la anterior es necesario asumir un nivel de Fuerza Total (F_T) aplicado para una bicicleta ya que se está buscando la velocidad que tendría un usuario de bicicleta en las diferentes pendientes. Debido a que la fuerza aplicada tiene una relación directa con la velocidad se tomaron valores experimentales hallados en una investigación sobre la fuerza aplicada en el pedal (Megías Lerma, 2016), estos valores estuvieron entre 125,6 N hasta 267,4 N para un nivel promedio de personas. También es debido aclarar que la fórmula anterior es aplicada para pendientes de subida, mientras que la fórmula para inclinación de bajada es la siguiente:

$$mg \sin \alpha = +C_r mg \cos \alpha + \frac{1}{2} C_d A \rho V_r^2$$

Ecuación 6 Fuerza Total de Bajada

Seguido de esto debemos realizar el despeje de la variable velocidad las cuales quedaron de la siguiente manera:

$$V = \sqrt{\frac{2(F_T - mg \sin \alpha - C_r mg \cos \alpha)}{C_d A \rho}}$$

Ecuación 7 Velocidad Pendiente Subida

$$V = \sqrt{\frac{mg (\sin \alpha - C_r \cos \alpha)}{C_d A \rho}}$$

Ecuación 8 Velocidad Pendiente Bajada

Debido a que la información que se tiene de la pendiente se encuentra en porcentaje se deberá convertir a grados para hacer los cálculos a partir de la fórmula de Hennekam. Dentro de este paso se tuvo en cuenta que la mayor pendiente registrada en Manizales es de 36, 4% (La Patria, 2014), por lo tanto se calcularon velocidades hasta pendientes de 40% tanto para bajada como para subida.

Por otro lado, tenemos la fórmula modificada para hallar las velocidades a partir de los porcentajes de pendiente la cual es la siguiente (The Climbing Cyclist, 2013):

$$V = \sqrt{\frac{(F_T - mg\omega - C_r mg\omega)}{C_d A \rho}}$$

Ecuación 9 Velocidad de Pendiente Subida Modificada

$$V = \sqrt{\frac{(mg\omega - C_r mg\omega)}{C_d A \rho}}$$

Ecuación 10 Velocidad de Pendiente Bajada Modificada

Los resultados obtenidos para el cálculo de las velocidades se aprecian en la Tabla 2, cabe aclarar que al momento de obtener resultados se observó que los valores para velocidad de subida en una pendiente de 4% era mayor al de 6,5km/h por tal motivo se realizó una interpolación lineal para hallar los valores entre 1% y 4% con 17,91 km/h y 6,5km/h respectivamente y de 4% a 13% con valores de 6,5 km/h y 3,913 km/h, finalmente 13% al 40% con valor de 3,913 km/h y 1,91 km/h. Se asumieron estas velocidades debido a las investigaciones previas y a la fuerza necesaria aplicada por una persona que se desplaza por la ciudad en bicicleta.

$$f(x | x_1, x_2) = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{(x_2 - x_1)} (x - x_1)$$

Ecuación 11 Interpolación Lineal

Tabla 2 Velocidades Asignadas

Porcentaje	Velocidad Subida (km/h)	Velocidad Bajada (km/h)
0%	17,910	17,910
1%	15,058	20,016
2%	12,205	21,491
3%	9,353	22,699
4%	6,500	23,748
5%	6,213	24,687
6%	5,926	25,546
7%	5,639	26,341
8%	5,352	27,084
9%	5,065	27,785
10%	4,778	28,449
11%	4,490	29,082
12%	4,203	29,687
13%	3,916	30,267
14%	3,842	30,826
15%	3,768	31,364
16%	3,693	31,884
17%	3,619	32,388
18%	3,545	32,877
19%	3,470	33,351
20%	3,396	33,812
21%	3,322	34,261
22%	3,248	34,698
23%	3,173	35,124
24%	3,099	35,541
25%	3,025	35,947
26%	2,950	36,344
27%	2,876	36,733
28%	2,802	37,113
29%	2,727	37,485
30%	2,653	37,849
31%	2,579	38,206
32%	2,504	38,556
33%	2,430	38,900
34%	2,356	39,237
35%	2,282	39,567
36%	2,207	39,892
37%	2,133	40,211
38%	2,059	40,524
39%	1,984	40,832
40%	1,910	40,832

Finalmente la velocidad fue asignada a cada uno de los arcos que forman la red de acuerdo a la pendiente correspondiente para dicho arco a través del uso del lenguaje de programación R. A su vez se tuvo en cuenta que en la red vial se presentaron arcos (calles, carreras y avenidas) que presentan doble sentido y donde la velocidad varía en una gran proporción al ser de subida o bajada. Por esta razón se duplicaron los arcos que presentaban este caso, a uno de ellos se fijó un sentido y a su copia se le dio el otro sentido para que la velocidad fuera la adecuada, este procedimiento se realizó con un herramienta de Qgis.

9.3.Caminos Mínimos

Otro procedimiento realizado para la obtención de resultados fue utilizar una herramienta ofrecida por el software TransCAD conocida como “Shortest Path”, en español “Caminos Mínimos”. Esta herramienta permite calcular la distancia más corta, el tiempo o el costo de viaje más bajo a través de varios algoritmos. Lo que hace este algoritmo es minimizar el valor total de un atributo de costo de red en particular a partir de la ruta más corta desde un origen hasta un destino. Para el caso de estudio se halló el tiempo de viaje mínimo de todos los nodos hacia todos los nodos, por medio de una de sus opciones de Múltiples caminos.

Antes de realizar este procedimiento se hizo el cálculo del tiempo de recorrido de cada uno de los arcos a partir de la distancia de cada arco y la velocidad que fue asignada. Los resultados de tiempo se obtuvieron en minutos pero debido al algoritmo utilizado por “Caminos Mínimos” y la aproximación de decimales se pasó a miles de minutos.

Luego de tener listo la red vial con los datos necesarios se ingresó la capa al software TransCAD, y se realizaron los siguientes pasos:

1. Se creó la red vial de Manizales dentro del software con las extensiones utilizadas por el mismo para la realización del procedimiento.
2. Seguido de lo anterior se cargó la red vial y se exportaron los nodos de la red vial, con el objetivo de tener una referenciación geográfica de los nodos y para procedimientos futuros.
3. Se hizo el cálculo de caminos mínimos y se obtuvo una matriz con el valor de los tiempos mínimos de todos los nodos hacia todos los nodos (Imagen 10).
4. Por último, se exporta la matriz de tiempos mínimos como un archivo de extensión “.txt” para continuar con la obtención de resultados.

[illegible]

Ilustración 10 Matriz de Tiempos Mínimos

Se debe recordar que los resultados de tiempos mínimos salieron en miles de minutos, por lo tanto, se cargó la matriz en el software de lenguaje R para modificar sus valores a minutos. Luego del procedimiento anterior se cargó el archivo con los nodos georreferenciados para añadir la información de la matriz de tiempos mínimos a los nodos correspondientes.

9.4. Análisis Espacial

Luego de tener el archivo de nodos con la información de tiempos mínimos de viaje para una persona que se desplaza en bicicleta en la ciudad de Manizales, se realizó un análisis espacial a través del software Qgis. Este análisis es un proceso que manipula información espacial para extraer información nueva y significativa a partir de los datos originales. Una de las técnicas para realizar este proceso se conoce como interpolación espacial que utiliza puntos con valores conocidos para estimar valores desconocidos en otros puntos.

Para el caso de estudio, se tienen los nodos (puntos) con la información de tiempos mínimos de viaje que a su vez permitirá estimar valores desconocidos para una zona o zonas de Manizales. La interpolación tiene dos métodos de realizar dentro del software Qgis, el primero consiste en la “Distancia Inversa Ponderada” (IDW) donde toma los puntos de muestreo para ser examinados durante la interpolación de tal manera que la

influencia de un punto en relación con otros disminuye con la distancia desde el punto desconocido que se desea crear (Imagen 11).

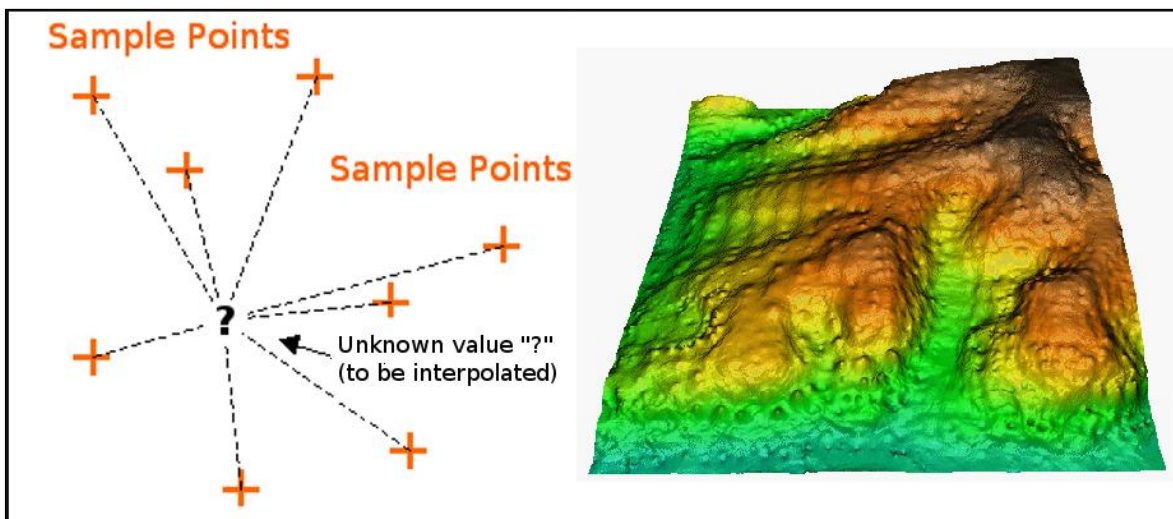


Ilustración 11 Interpolación IDW

Fuente: Tomada de
https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

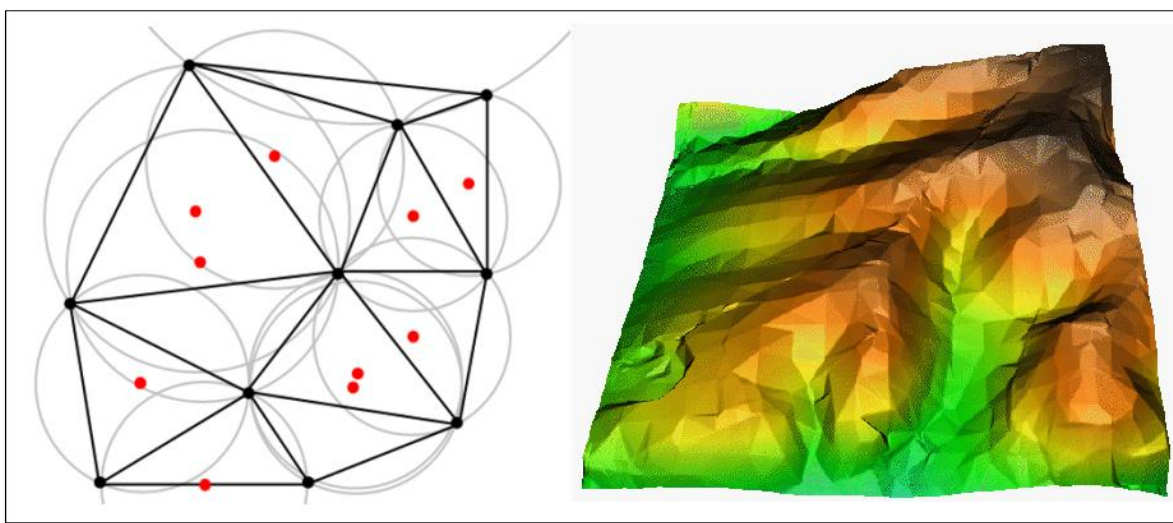


Ilustración 12 Interpolación TIN

Fuente: Tomada de
https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

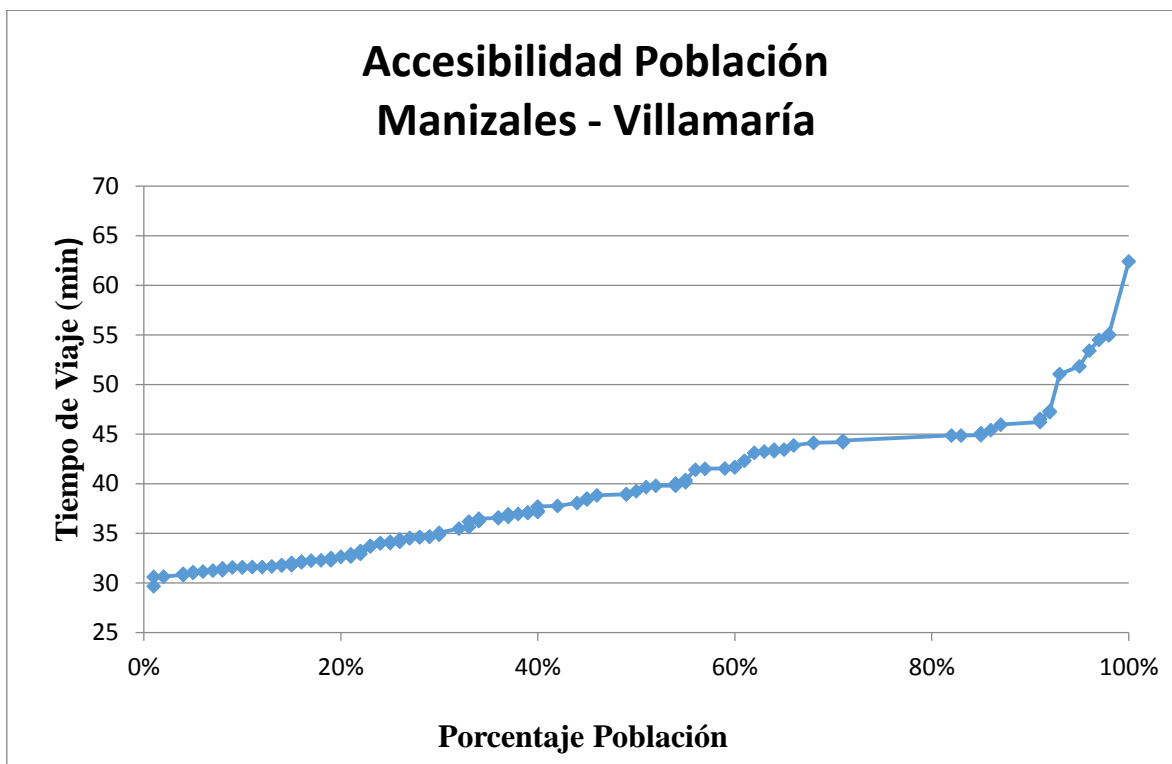
Y en segundo lugar está el método de “Red Irregular Triangulada” (TIN), el cual consiste en un algoritmo llamado Triangulación de Delaunay que intenta crear una superficie a

partir de triángulos de puntos vecinos más cercanos. Para ello se forman circunferencias alrededor de los puntos de muestreo, generando intersecciones que se conectan a una red de triángulos no traslapados y compactos (Imagen 12).

El método escogido para el caso de estudio fue la interpolación “Distancia Inversa Ponderada” (IDW) debido a que el número de puntos utilizados para el proceso es elevado y al mismo tiempo presentan una regularidad espacial. Esto permitirá obtener mejores resultados a nivel estadístico (Navarro, 1996).

10. Resultados

En el marco de los resultados debe añadirse el municipio de Villamaría ya que se presenta un fenómeno de conurbación con la ciudad de Manizales. Cabe aclarar que los datos obtenidos para el municipio de Villamaría fueron escasos haciendo que esta zona geografía se analizara bajo un promedio de estrato socioeconómico de 3 y una población total de 46.491 habitantes.



Gráfica 1 Análisis de Accesibilidad Población Total

Como se observa en la gráfica anterior solo el 1% de la población de Manizales y Villamaría se encuentran 29, 68 min en sus tiempos de viaje hacia cualquier sector de estos dos municipios. A su vez el tiempo de viaje en bicicleta para una población mayor empieza a aumentar de acuerdo a la proporción de la misma. Otro caso es para el 50% de la población que corresponde a 206.806 habitantes que tarda un tiempo de 39, 27 minutos para desplazarse hacia cualquier punto de la ciudad.

Además de lo anterior a partir del 91% hasta el 100% de la población se aprecia un crecimiento acelerando en el tiempo de viaje pasando de 47 min hasta 62 minutos aproximadamente. Esto no ocurre con otros porcentajes de la población que tienen un menor crecimiento.

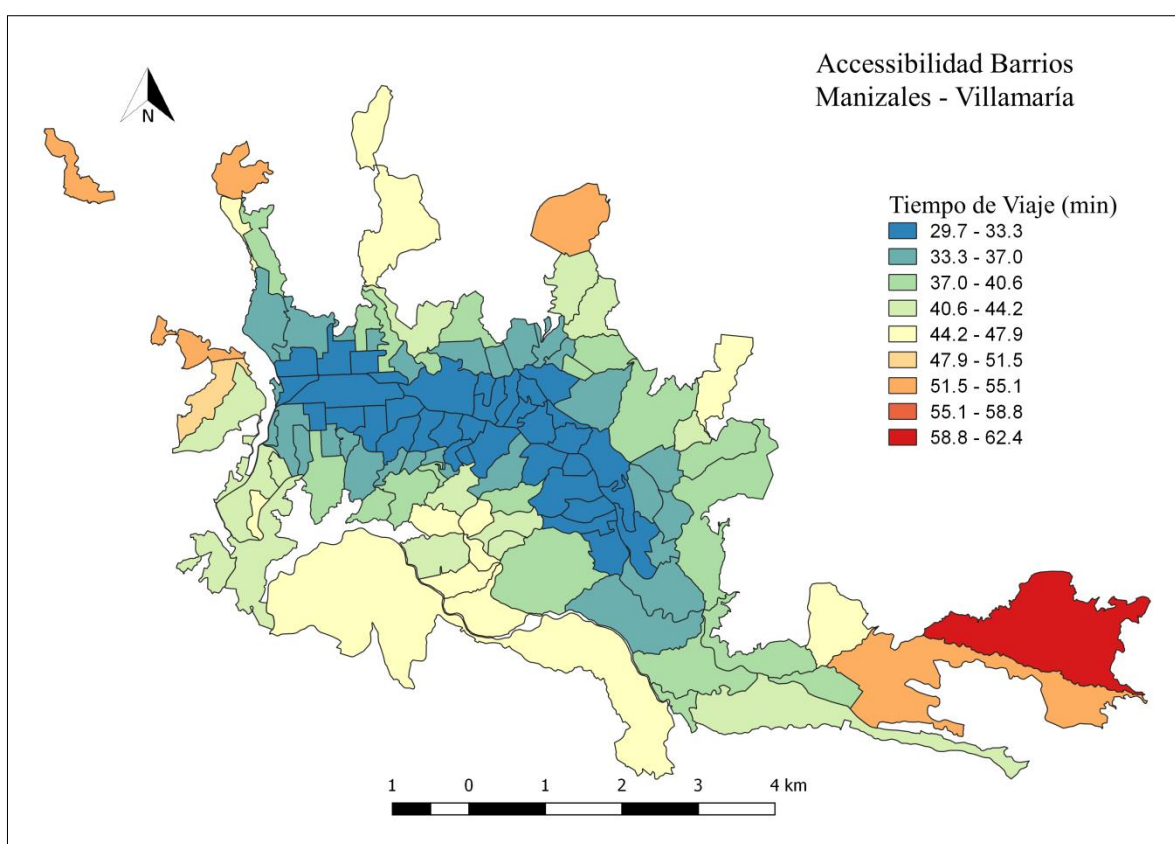
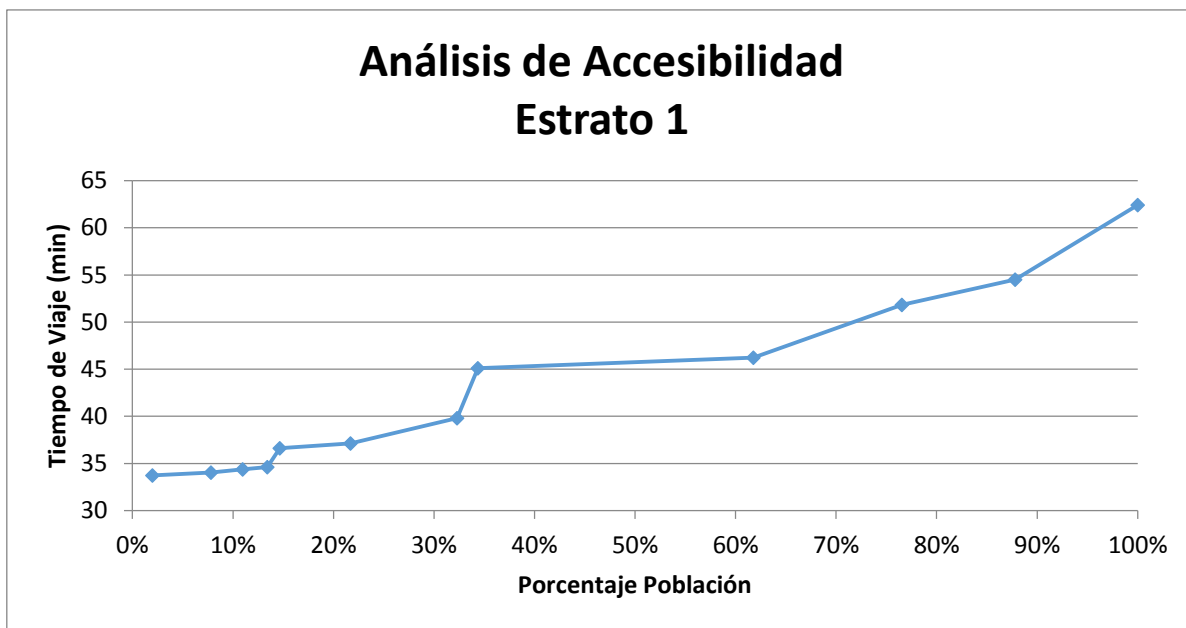


Ilustración 13 Mapa de Accesibilidad Barrios

Fuente: Elaboración Propia

En vista de lo observado se realizó un análisis a partir del estrato socioeconómico de los dos municipios observando de manera individual cada uno de ellos y como se ven afectados sus tiempos de viaje en bicicleta. Empezaremos con el estrato 1:



Gráfica 2 Análisis de Accesibilidad Estratos 1

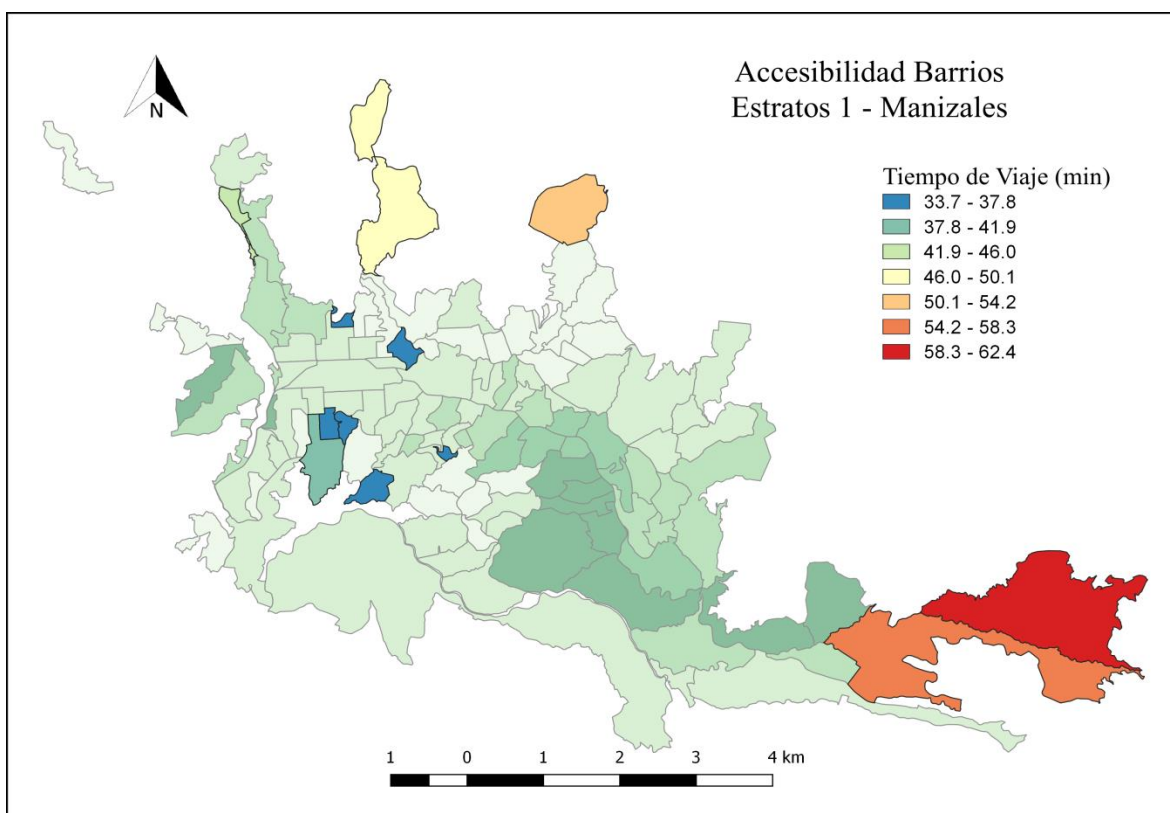


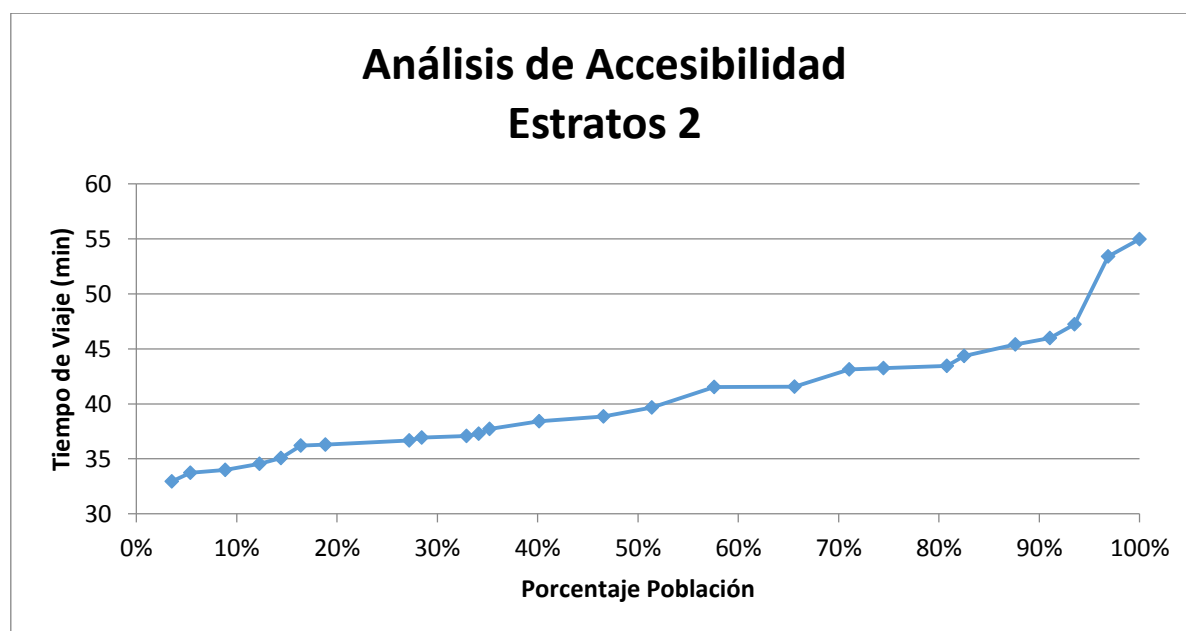
Ilustración 14 Mapa Accesibilidad Estratos 1

Fuente: Elaboración Propia

Para la población perteneciente al estrato socioeconómico 1, el intervalo de tiempo de viaje se encuentra entre 33,7 min para el 2% de la población y el 62,4 min para el total de dicha población. Este último dato permite establecer que es el mayor tiempo de viaje que se presentan entre los diferentes estratos.

Algunos de los barrios identificados en el estrato 1 se encuentran en la periferia de la ciudad esto puede ser una referencia a tener en cuenta del porqué los tiempos de viaje altos al momento de usar la bicicleta como medio de transporte. También es debido señalar que el total de barrios que se encuentran dentro de este son 12 barrios con un total de población de 54.314 habitantes.

A su vez se realizó para el estrato socioeconómico 2 encontrando lo siguiente:



Gráfica 3 Análisis de Accesibilidad Estratos 2

En el estrato socioeconómico 2 se encuentra la segunda mayor cantidad de población de la ciudad de Manizales con 77.732 habitantes, también se observa que su intervalo de tiempo de viaje aumenta hasta el segundo un registro más alto de 54, 96 min.

Aun para este estrato se aprecia que algunos de barrios están ubicados en las periferias de la ciudad, pero otros tienen presencia en la zona centro del municipio de Manizales. Además estos sectores constituyen una parte de las pendientes que se presentan en la red vial estudiada.

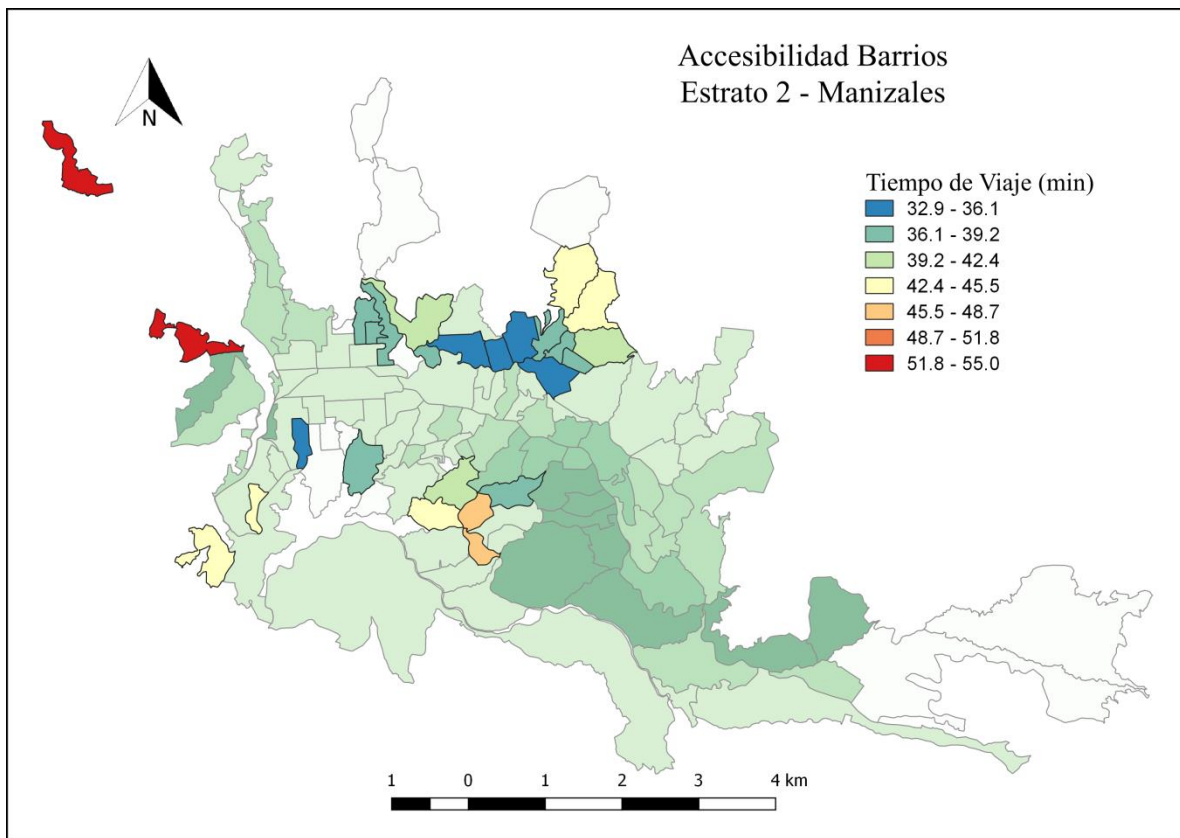
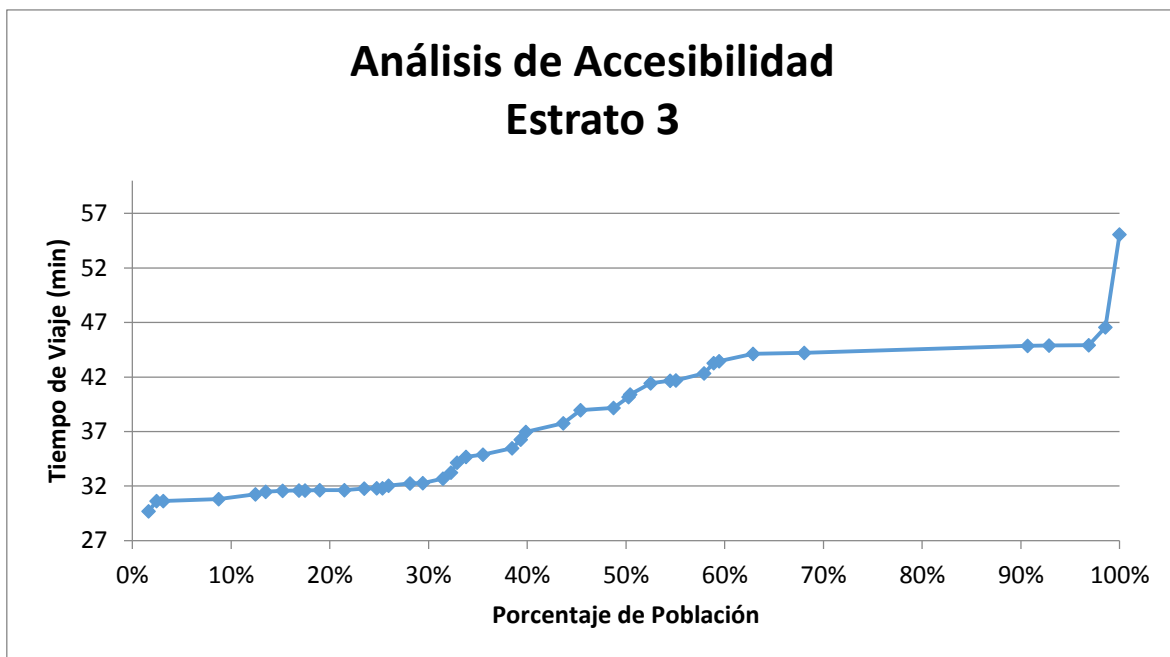


Ilustración 15 Mapa de Accesibilidad Estratos 2

Fuente: Elaboración Propia

En tercer lugar se encuentra el estrato socioeconómico 3, en el cual se encuentra situado el municipio de Villamaría asumido con este estrato por la poca información recolectada. También se puede señalar que este grupo presenta la mayor cantidad de población de Manizales aun sin considerar la población correspondiente a Villamaría con un total de 158.805 habitantes.

En este estrato se observa que el valor mínimo de tiempo de viaje en bicicleta con 29,7 min calculado dentro de la red vial de Manizales y Villamaría, esto se debe generalmente por la ubicación de los barrios en la zona centro de la ciudad la cual ostenta una topografía plana y que permite desplazamientos con menores tiempos. Durante los últimos años esta zona ha sido utilizada para fomentar el uso de la bicicleta a partir del sistema compartido de bicicletas de la ciudad debido a las condiciones mencionadas anteriormente. Para señalar Villamaría se encuentra en el intervalo de 44,3 a 47,8 min siendo un registro significativo al momento de ser comparado con los resultados para los estratos 1 y 2 de la capital Caldense.



Gráfica 4 Análisis de Accesibilidad Estratos 3

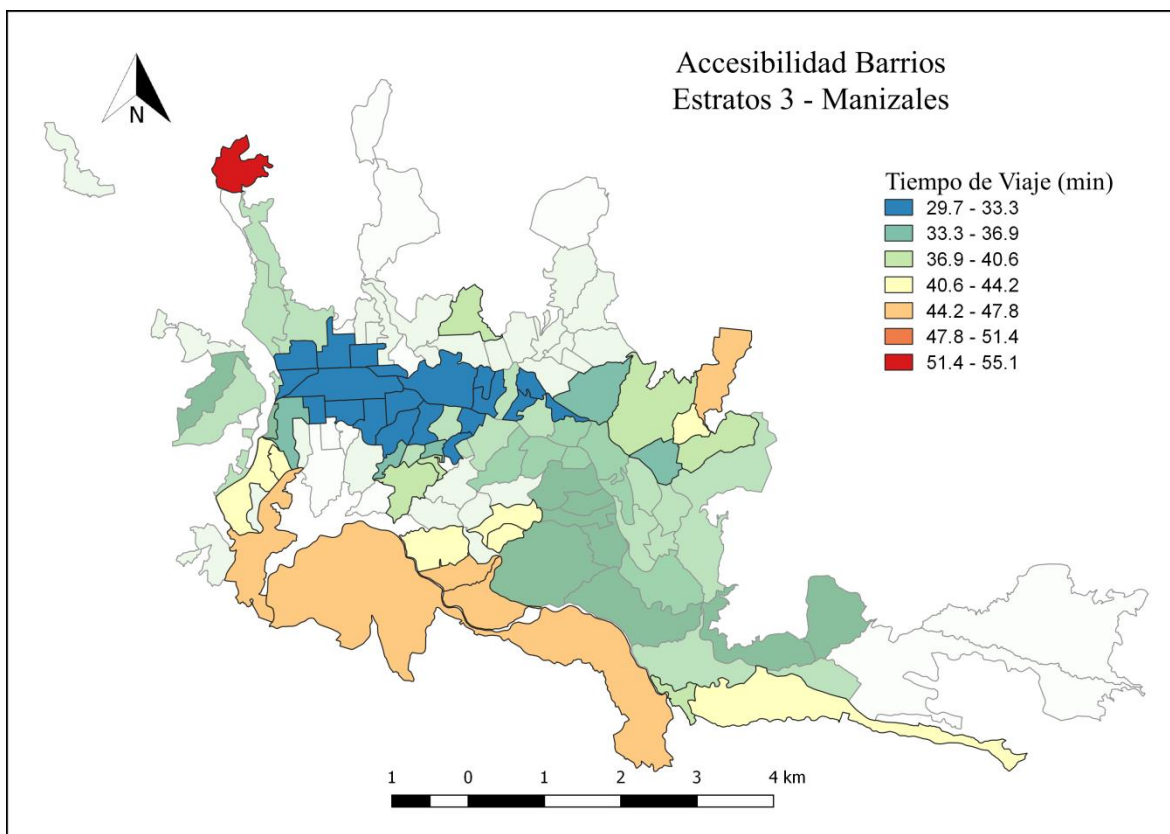
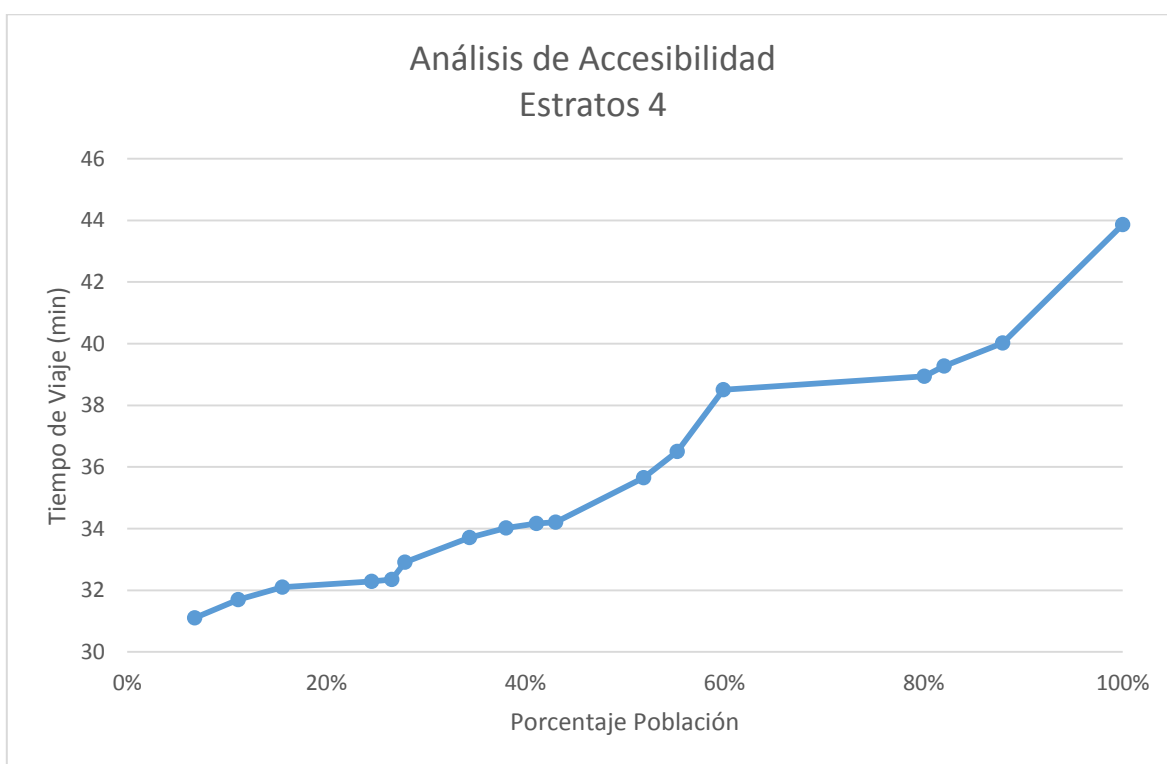


Ilustración 16 Mapa de Accesibilidad Estratos 3

Fuente: Elaboración Propia

Para los estratos 4 se observó que el 50% de la población tiene un valor de tiempo de viaje de 35,64 min, este resultado es el segundo valor más bajo al ser comparado con el 50% del resto de los estratos socioeconómicos.

Conjuntamente la pendiente de crecimiento hasta el 50% de la población para el estrato 4 es mucho menor al total de la población ya que los barrios que están presentes después del 50% cuentan con más población en este estrato socioeconómico y están ubicados en los perímetros de la ciudad generando un incremento significativo en el rango de tiempo de viaje.



Gráfica 5 Análisis de Accesibilidad Estratos 4

También se analiza que los barrios que componen este estrato se encuentran dentro de los resultados de menor valor en el tiempo de viaje usando la bicicleta. El intervalo de tiempo está entre 31 y 44 min aproximadamente, un valor medianamente bajo con respecto a los anteriores estratos socioeconómicos.

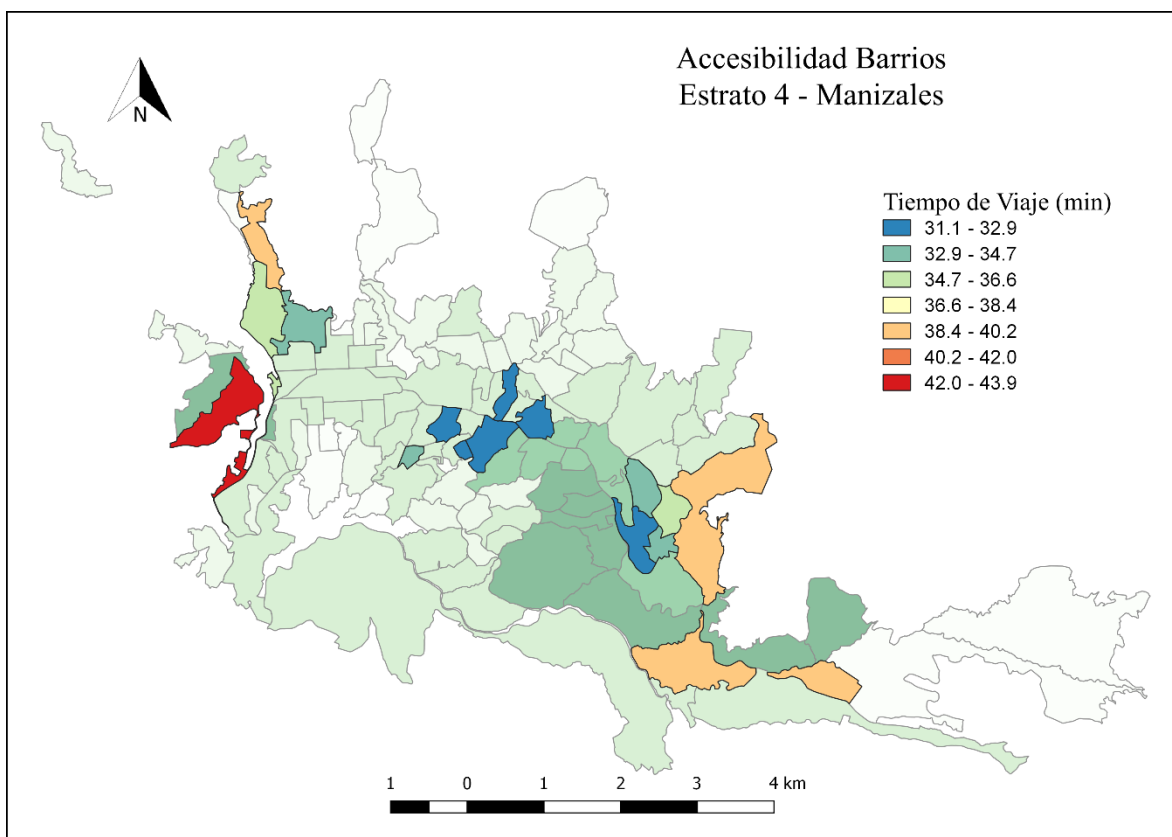
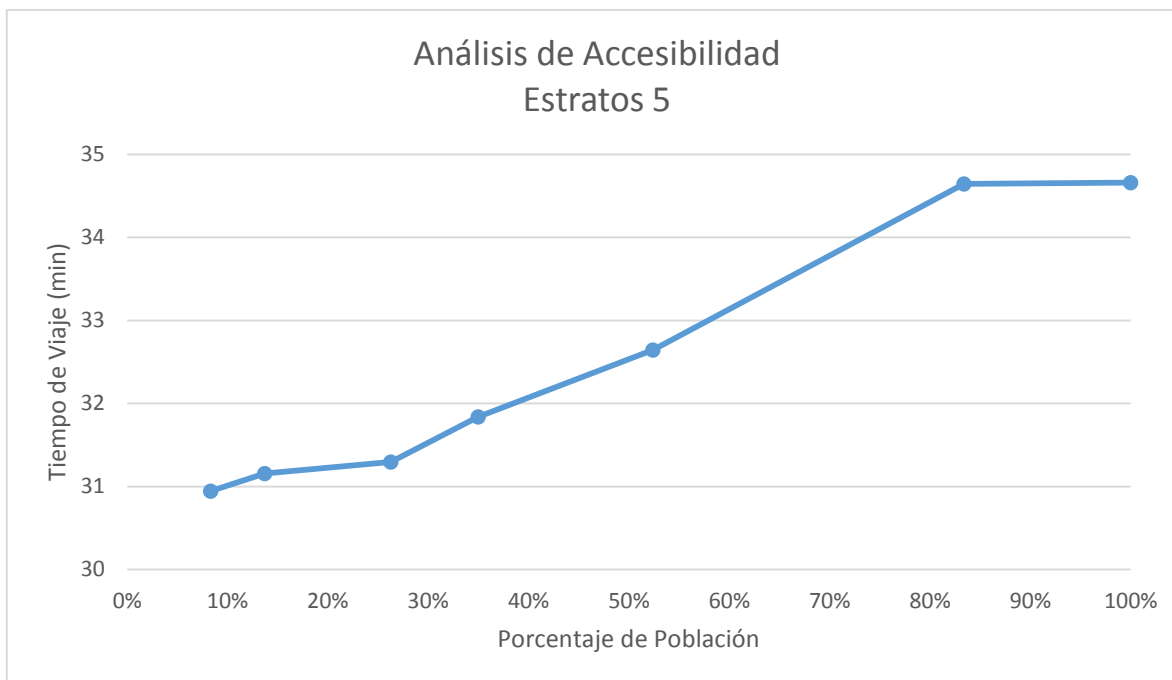


Ilustración 17 Mapa de Accesibilidad Estrato 4

Fuente: Elaboración Propia

Al mismo tiempo para los estratos 5 se obtuvieron los mejores resultados en el rango de tiempo promedio de viaje debido a la ubicación geográfica que presentan los barrios ofreciendo un intervalo de 31 a 35 min aproximadamente.

Debe considerarse que la cantidad de barrios que se encuentran dentro del estrato socioeconómico son 7, un valor bajo al tener en cuenta los 114 barrios identificados para la ciudad. Estos barrios están todos adscritos a la comuna Palogrande de la ciudad de Manizales, reconocida por ser un sector universitario, empresarial y comercial. Una de las vías importantes dentro de esta zona es la avenida Santander la cual cuenta con doble calzada para sus dos sentidos, a su vez la avenida Paralela que tiene las mismas características que la mencionada anteriormente. Por tal razón los tiempos de viaje pueden tener este comportamiento además de la topografía casi plana del sector.



Gráfica 6 Análisis de Accesibilidad Estratos 5

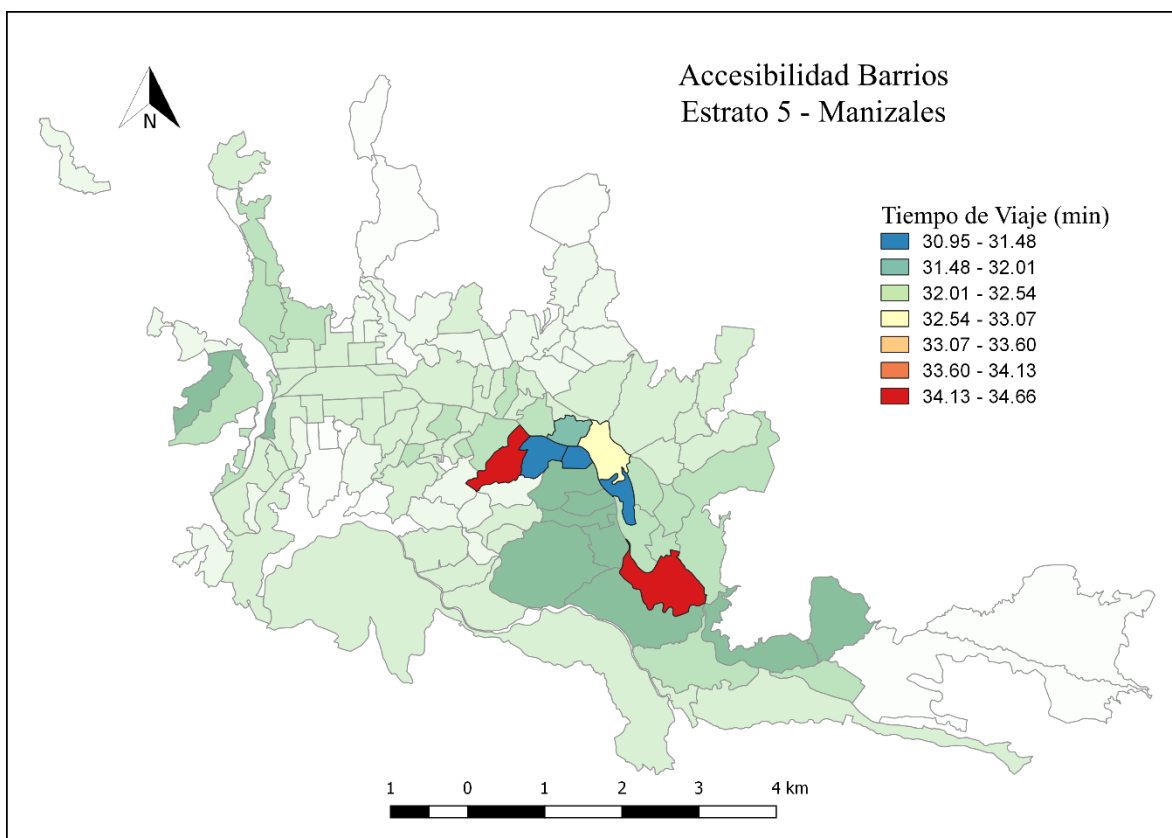
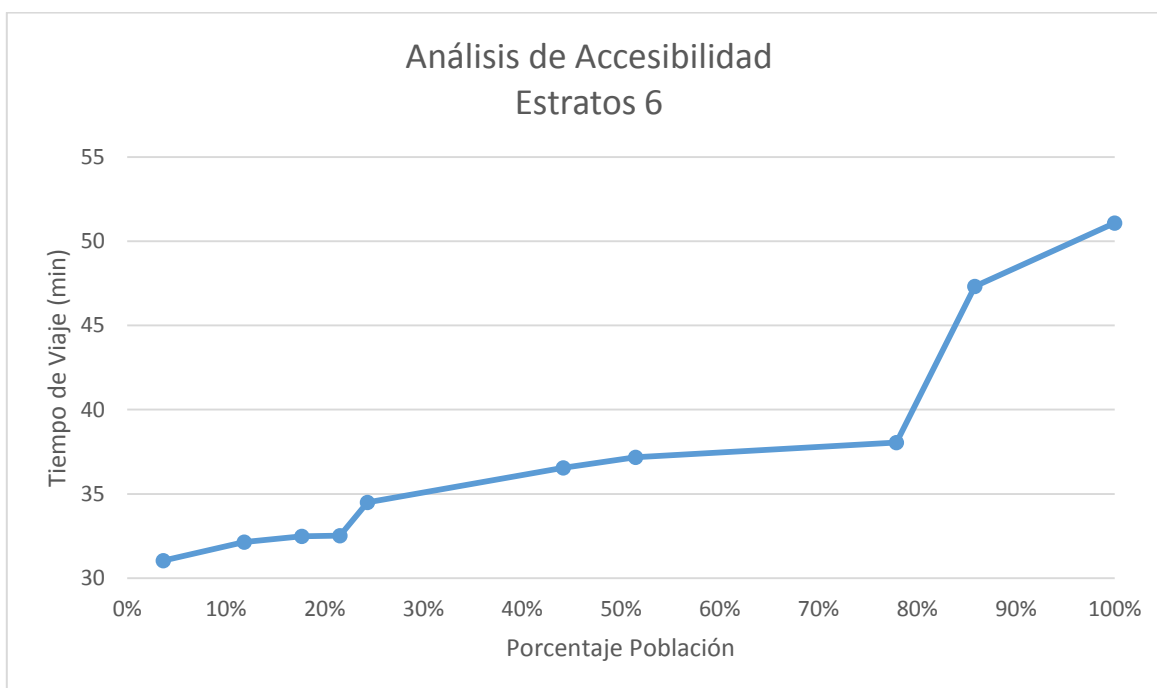


Ilustración 18 Mapa de Accesibilidad Estratos 5

Fuente: Elaboración Propia

Por último se encuentra el estrato socioeconómico 6, en este se presenta un alto intervalo de tiempo de viaje que va desde 31 min hasta 51 min para los 10 barrios identificados dentro de este estrato. Uno de los casos es la ubicación de 2 de estos barrios en la “comuna Atardeceres” , la cual se encuentra en la periferia de la ciudad haciendo que el tiempo de viaje aumente aunque la mayoría de los barrios se encuentran ubicados en la comuna Palogrande similar al estrato 5.



Gráfica 7 Análisis de Accesibilidad Estratos 6

Por otra parte, el 78% de los habitantes de estos barrios se encuentran con valores de tiempo de viaje entre los 38, 1 min. Siendo un resultado favorable para las personas que se ubican en esta zona de la ciudad. Este fenómeno se vivencia también en los estratos 4, 5 y 6 al ser comparados con los estratos 1, 2 y 3.

El barrio ubicado con la mayor cantidad de tiempo de viaje es conocido como “La Francia” y tiene una cantidad de habitantes de 3307. Otra de las comunas que tiene presencia de estratos socioeconómicos 6 es “Tesorito” y presenta un valor alto de tiempo de viaje con respecto al resto de los barrios con un valor del 48, 2 min.

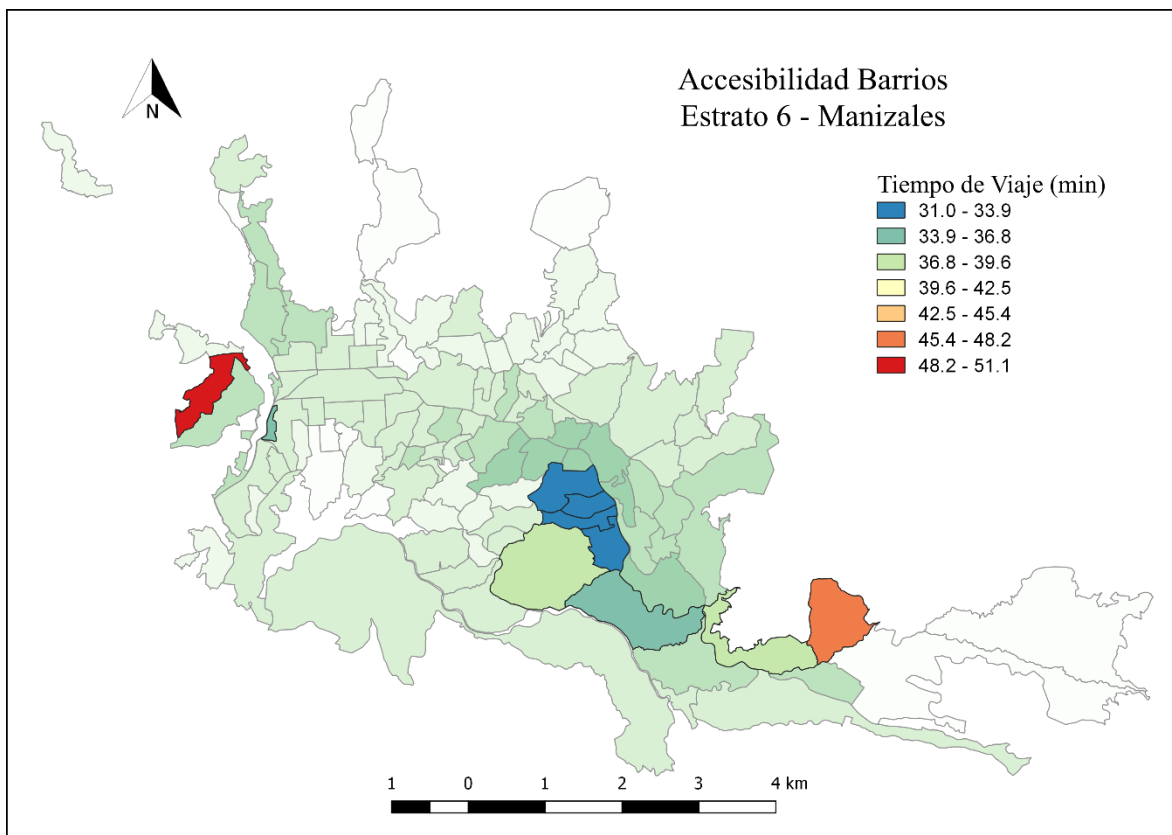
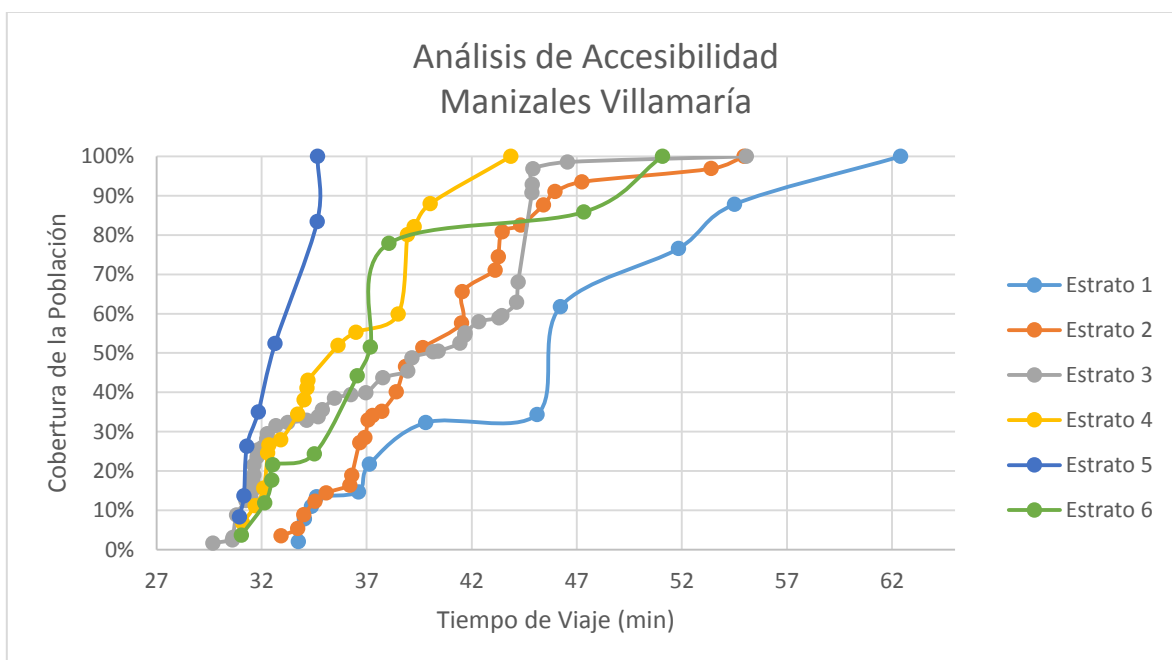


Ilustración 19 Mapa de Accesibilidad Estratos 6

Fuente: Elaboración Propia



Gráfica 8 Análisis de Accesibilidad Combinado

11. Conclusiones y Discusiones

Como se observa en los resultados obtenidos podemos concluir que la ciudad de Manizales presenta en términos de tiempo de viaje usando la bicicleta una brecha de movilidad para los estratos 1, 2 y 3 incluyendo en ella su conurbación con Villamaría. Esto ocurre debido a la ubicación geográfica de los mismos en las periferias de la ciudad o hallarse en zonas donde se evidencia una mayor proporción de pendientes. También debe reconocerse que la ubicación de los estratos 4, 5 y 6 está dentro de una zona de la ciudad que presenta una infraestructura vial de mayor capacidad como lo son la Avenida Santander y la Paralela, pero también una zona que topográficamente es más amigable con el tránsito en bicicleta por ser más plana.

A su vez la bicicleta con respecto a otros medios de transporte es una alternativa de transporte que registra valores medios de viaje con respecto a los análisis hechos en otras investigaciones para la ciudad (D. Escobar & Garcia, 2012) (Escobar, Tamayo, & Holguín, 2016). Además se debe seguir promocionando el uso de la bicicleta a partir del sistema compartido de bicicleta actual con propuestas que mejoren la percepción de seguridad de los ciudadanos como medio de transporte y donde se ubiquen estaciones de préstamo estratégicamente que disminuyan las brechas de acceso para este sistema. Además de una articulación con otros sistemas públicos de transporte presentes en la ciudad como el cable aéreo y el transporte público de buses y busetas (Cardona, Zuluaga, & Escobar, 2017).

Por último, la planeación de la ciudad podrá tener en cuenta otras soluciones que se observan a nivel mundial como bicicletas asistidas eléctricas para ciertas zonas de la ciudad debido a su topografía particular.

12. Referencias

12.1. Artículos Científicos

- Aldred, R., Woodcock, J., & Goodman, A. (2016). Does More Cycling Mean More Diversity in Cycling? *Transport Reviews*, *Aldred*, *R.*(1), 28–44. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1014451>
- Boschmann, E. E., & Kwan, M. P. (2008). Toward socially sustainable urban transportation: Progress and potentials. *International Journal of Sustainable Transportation*, *2*, 138–157. <https://doi.org/10.1080/15568310701517265>
- Buehler, R., & Dill, J. (2016). Bikeway Networks: A Review of Effects on Cycling. *Transport Reviews*, *36*(1), 9–27. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1069908>
- Buehler, R., & Pucher, J. (2012). Cycling to work in 90 large American cities: New evidence on the role of bike paths and lanes. *Transportation*, *39*(2), 409–432. <https://doi.org/10.1007/s11116-011-9355-8>
- Cardona, M., Zuluaga, J. D., & Escobar, D. A. (2017). Análisis de la red de ciclo-rutas de Manizales (Colombia) a partir de criterios de accesibilidad territorial urbana y cobertura de estratos socioeconómicos. *Revista Espacios*, *38*(28), 10.
- Cervero, R., Sarmiento, O. L., Jacoby, E., Gomez, L. F., & Neiman, A. (2009). Influences of built environments on walking and cycling: Lessons from Bogotá. *International Journal of Sustainable Transportation*, *3*(4), 203–226. <https://doi.org/10.1080/15568310802178314>
- de Sousa, A. A., Sanches, S. P., & Ferreira, M. A. G. (2014). Perception of Barriers for the Use of Bicycles. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *160*, 304–313. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.142>
- de Souza, A. A., Sanches, S. P., & Ferreira, M. A. G. (2014). Influence of Attitudes with Respect to Cycling on the Perception of Existing Barriers for Using this Mode of Transport for Commuting. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *162*, 111–120. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.12.191>
- Escobar, D. A., Martínez, S., & Moncada, C. A. (2016). Relación entre PM10 y condiciones de accesibilidad territorial urbana en manizales (Colombia). *Informacion Tecnologica*, *27*(6), 273–284. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000600027>

- Escobar, D. A., Tamayo, J., & Holguín, J. M. (2016). Propuesta metodológica de evaluación del Transporte Público Colectivo a partir de un análisis de accesibilidad global. Caso de estudio: Manizales y Villamaría - Colombia. *Espacios*, 37(24), 17.
- Escobar, D., & Garcia, F. (2012). Territorial Accessibility Analysis as a Key Variable for Diagnosis of Urban Mobility: A Case Study Manizales (Colombia). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 48, 1385–1394. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.1114>
- Escobar Garcia, Diego Alexander. García Orozco, F. J. (2012). Impacto regional: caso de aplicación de análisis de accesibilidad territorial. *Revista Épsilon*, 18(1988), 71–86.
- Fishman, E. (2016). Cycling as transport. *Transport Reviews*, 36(1), 1–8. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1114271>
- Fishman, E., Washington, S., & Haworth, N. (2013). Bike Share: A Synthesis of the Literature. *Transport Reviews*, 33(2), 148–165. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.775612>
- Götschi, T., Garrard, J., & Giles-Corti, B. (2016). Cycling as a Part of Daily Life: A Review of Health Perspectives. *Transport Reviews*, 36(1), 45–71. <https://doi.org/10.1080/01441647.2015.1057877>
- Handy, S., van Wee, B., & Kroesen, M. (2014). Promoting Cycling for Transport: Research Needs and Challenges. *Transport Reviews*, 34(1), 4–24. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.860204>
- Heinen, E., van Wee, B., & Maat, K. (2010). Commuting by bicycle: An overview of the literature. *Transport Reviews*, 30(1), 59–96. <https://doi.org/10.1080/01441640903187001>
- Hennekam, W. (1990). The speed of a cyclist. *Physics Education*, 25(3), 141–146. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/25/3/001>
- Iacobucci, J., Hovenkotter, K., & Anbinder, J. (2017). Transit Systems and the Impacts of Shared Mobility. In *Disrupting Mobility* (pp. 65–76). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51602-8_4
- Jensen, P., Rouquier, J. B., Ovtracht, N., & Robardet, C. (2010). Characterizing the speed and paths of shared bicycle use in Lyon. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15(8), 522–524. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2010.07.002>
- Lizarraga, C., Jaramillo, C., & Grindlay, A. L. (2011). Urban development and transport disadvantage: Methodology to evaluate social transport needs in Latin American cities. *ERSA Conference Papers*, (May 2014).

- Megías Lerma, J. M. Obtención experimental de la fuerza efectiva en el pedal de una bicicleta (2016). Retrieved from <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5761/fichero/Obtención+experimental+de+la+fuerza+efectiva+en+el+pedal+de+una+bicicleta.pdf>
- Parra, D. C., Gómez, L. F., Sarmiento, O. L., & Schmid, T. (2012). An inside look at active transportation in Bogota: A qualitative study Mosquera J. *Journal of Physical Activity and Health*, 9(6), 776–785. <https://doi.org/10.1123/jpah.9.6.776>
- Sabogal, O. A., Escobar, D. A., & Oviedo, D. R. (2018). Making Accessibility Visible : Visualizing Spatial Accessibility Through Multi-Dimensional Scaling Model, 12(6), 70–85. <https://doi.org/10.5539/mas.v12n6p70>
- Schantz, P. (2017). Distance, Duration, and Velocity in Cycle Commuting: Analyses of Relations and Determinants of Velocity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1166), 1–14. <https://doi.org/10.3390/ijerph14101166>
- Troped, P. J., Saunders, R. P., Pate, R. R., Reininger, B., Ureda, J. R., & Thompson, S. J. (2001). Associations between self-reported and objective physical environmental factors and use of a community rail-trail. *Preventive Medicine*, 32(2), 191–200. <https://doi.org/10.1006/pmed.2000.0788>
- Wahlgren, L., Stigell, E., & Schantz, P. (2010). The active commuting route environment scale (ACRES): Development and evaluation. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 7, 1–15. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-58>
- Willis, D. P., Manaugh, K., & El-Geneidy, A. (2015). Cycling under influence: summarizing the influence of perceptions, attitudes, habits, and social environments on cycling for transportation. *International Journal of Sustainable Transportation*. <https://doi.org/10.1080/15568318.2013.827285>
- Wuerzer, T., & Mason, S. G. (2015). Cycling willingness: Investigating distance as a dependent variable in cycling behavior among college students. *Applied Geography*, 60, 95–106. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.03.009>
- Younes, C., Escobar, D. A., & Holguín, J. M. (2016). Equidad, accesibilidad y transporte. Aplicación explicativa mediante un análisis de accesibilidad al sector universitario de manizales (Colombia). *Informacion Tecnologica*, 27(3), 107–118. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000300010>

12.2. Sitios Web

Banco Interamericano de Desarrollo. (2013). *Vanguardia.com*. Obtenido de Vanguardia.com:

http://www.vanguardia.com/sites/default/files/informe_uso_de_las_bicicletas.pdf

Alcaldía de Manizales. (02 de Mayo de 2016). *Alcaldía de Manizales*. Obtenido de Alcaldía de Manizales: <http://www.manizales.gov.co/RecursosAlcaldia/201605021636516132.pdf>

Alter, L. (03 de Diciembre de 2010). *treehugger*. Obtenido de treehugger: <https://www.treehugger.com/bikes/new-study-shows-urban-cycling-is-faster-than-driving.html>

Astigarraga, E. (09 de Marzo de 2011). *Bicicletas, ciudades, viajes*. Obtenido de Bicicletas, ciudades, viajes: <http://bicicletasciudadesviajes.blogspot.com.co/2011/03/ciclabilidad-cuestion-de-criterio.html>

Banco Interamericano de Desarrollo. (2011). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo: <https://www.iadb.org/es/ciudades>

Banco Interamericano de Desarrollo. (27 de Noviembre de 2017). *Banco Interamericano de Desarrollo*. (H. Consulting, Ed.) Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo: <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=EZSHARE-1020424358-8>

Business Dictionary. (16 de Abril de 2018). *Business Dictionary*. Obtenido de Business Dictionary: <http://www.businessdictionary.com/definition/route.html>

Caliper Mapping & Transportation Software Solutions. (2008). *Caliper Mapping & Transportation Software Solutions*. Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de Caliper Mapping & Transportation Software Solutions: <https://www.caliper.com/tcovu.htm>

Concejo Municipal de Manizales. (13 de Julio de 2015). *Concejo Municipal de Manizales*. Obtenido de Concejo Municipal de Manizales: <http://concejodemanizales.gov.co/noticias/manizales-en-bici-una-iniciativa-que-surge-de-los-colectivos-de-ciudad/#>

Congreso de la República de Colombia. (31 de Julio de 2006). *International Energy Agency*. Obtenido de International Energy Agency: <https://www.iea.org/media/pams/colombia/SustainableUrbanPlanningLaw1083of2006.pdf>

Congreso de la República de Colombia. (21 de Octubre de 2016). *Presidencia de la República de Colombia*. Obtenido de Presidencia de la República de Colombia: <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/LEY%201811%20DEL%2021%20DE%20OCTUBRE%20DE%202016.pdf>

Departamento de Ingeniería Civil. (2018). *Universidad Nacional Sede Manizales*. Recuperado el 16 de Mayo de 2018, de Universidad Nacional Sede Manizales: http://www.fia.unal.edu.co/index.php?option=com_content&view=article&id=243&Itemid=114

Dinero. (25 de Marzo de 2012). El 74% de la población colombiana habita en zonas urbanas. *Dinero*. Obtenido de <http://www.dinero.com/economia/articulo/el-74-poblacion-colombiana-habita-zonas-urbanas/147272>

Esri. (s.f.). *ArcGIS Pro*. Obtenido de ArcGIS Pro: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>

Financiera del Desarrollo. (29 de Mayo de 2015). *Alcaldía de Manizales*. Obtenido de Alcaldía de Manizales: <http://www.manizales.gov.co/RecursosAlcaldia/201505291418448411.pdf>

Flores, R. A., Taddia, A. P., Pardo, C., & Lleras, N. (Febrero de 2015). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo: <https://publications.iadb.org/handle/11319/6808>

Flores, R. R., Taddia, A., Pardo, C., & Lleras, N. (Febrero de 2015). *Banco Interamericano de Desarrollo*. Obtenido de Banco Interamericano de Desarrollo: <https://publications.iadb.org/handle/11319/6808>

Fundéu BBVA. (23 de Septiembre de 2010). *Fundéu BBVA*. Obtenido de Fundéu BBVA: <https://www.fundeu.es/consulta/ciclable-2394/>

Geller, R. (2005). *Portland Oregon*. Obtenido de Portland Oregon: <https://www.portlandoregon.gov/transportation/44597?a=237507>

Green Plus. (12 de Septiembre de 2011). *Green Plus*. Obtenido de Green Plus: <http://gogreenplus.org/nuts-and-bolts-guide/planet-nuts-and-bolts-guide/transportation/alternative-transportation/>

Gris Orange Consultant. (29 de Junio de 2011). *Transport Canada*. Obtenido de Transport Canada: <http://data.tc.gc.ca/archive/eng/programs/environment-urban-guidelines-practitioners-bikesharingguide2009-1-1660.htm#1.2>

Infi Manizales. (2017). *Infi Manizales*. Obtenido de Infi Manizales: <https://www.infimanizales.com/portfolio/plan-maestro-de-movilidad/>

Infi-Manizales. (2016). *Infi-Manizales*. Obtenido de Infi-Manizales: <https://www.infimanizales.com/portfolio/plan-maestro-de-movilidad/>

La Patria. (13 de Julio de 2014). *La Patria*. Obtenido de La Patria: <http://www.lapatria.com/manizales/las-lomas-mas-inclinadas-de-manizales-102086>

Larrodé, E., Gallego, J., & Fraile, A. (2011). *Fundación General CSIC*. Obtenido de Fundación General CSIC: http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/articulos/optimizacion_de_redes_de_transporte

Manizales Cómo Vamos. (2017a). *Manizales Cómo Vamos*. Obtenido de Manizales Cómo Vamos: http://manizalescomovamos.org/wp-content/uploads/2017/09/IMCV2017_completo-rr-1.pdf

Manizales Cómo vamos. (2017b). *Manizales Cómo vamos*. Obtenido de Manizales Cómo vamos: <http://manizalescomovamos.org/wp-content/uploads/2017/08/Cap%C3%ADtulo-8.pdf>

Metcalfe, J. (31 de Octubre de 2016). *CityLab*. Obtenido de CityLab: <https://www.citylab.com/transportation/2016/10/best-speed-for-cycling-walking-pollution-exposure-research/505871/>

Montalban, A. (23 de Septiembre de 2014). *Camina granada*. Obtenido de Camina granada: <https://caminagranada.com/author/anamontalban/>

Morris, J., Dumble, P., & Wigan, M. (April de 1979). Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research Part A: General*, 13(2), 91-109. doi:10.1016/0191-2607(79)90012-8

Natural Resources Canada. (04 de Marzo de 2018). *Government of Canada*. Obtenido de Government of Canada.

Navarro, J. A. (1996). *Universidad de Oviedo*. Obtenido de Universidad de Oviedo: <http://www6.uniovi.es/~feli/Invitados/alcala/texto.html>

North Carolina Department of Transportation. (s.f.). *North Carolina Department of Transportation*. Obtenido de North Carolina Department of Transportation: <https://www.ncdot.gov/projects/kinstonbypass/download/glossary.pdf>

Real Academia Española. (s.f.). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <http://dle.rae.es/?id=5T5im1x>

Secretaria de Planeación Municipal. (2015). *Alcaldía de Manizales*. Recuperado el 09 de Abril de 2018, de Alcaldía de Manizales: <http://www.manizales.gov.co/RecursosAlcaldia/201507281633551561.pdf>

Sutton, T. (Abril de 2009). *QGis*. Obtenido de QGis : https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html

The Climbing Cyclist. (29 de Mayo de 2013). *The Climbing Cyclist*. Obtenido de The Climbing Cyclist: <http://theclimbingcyclist.com/gradients-and-cycling-how-much-harder-are-steeper-climbs/>

Ucha, F. (14 de Mayo de 2013). *Definición ABC*. Obtenido de Definición ABC: <https://www.definicionabc.com/?s=Desplazamiento>

United Nations Human Settlements Programme. (2011). *United Nations Habitat*. Obtenido de United Nations Habitat: <http://mirror.unhabitat.org/documents/SOWC10/R4.pdf>

University of Alaska Fairbanks. (s.f.). *Alaska Satellite Facility*. Recuperado el 06 de Febrero de 2018, de Alaska Satellite Facility: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

Vilches, A., Macías, Ó., & Gil, D. (01 de Noviembre de 2012). *Organización de Estados Iberoamericanos*. (I. C. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, Ed.) Obtenido de Organización de Estados Iberoamericanos: <http://www.oei.es/historico/decada/accion.php?accion=000>

Wachs, M., & Kumagai, T. G. (October de 1973). Physical accessibility as a social indicator. *Socio-Economic Planning Sciences*, 7(5), 437-456. doi:10.1016/0038-0121(73)90041-4

World Health Organization Regional Office for Europe. (2014). *Health Economic Assessment Tool*. Obtenido de Health Economic Assessment Tool: <http://old.heatwalkingcycling.org/index.php?pg=cycling&act=introduction>